

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-342589

(43)Date of publication of application : 12.12.2000

(51)Int.Cl.

A61B 10/00  
G01N 21/17

(21)Application number : 11-159270

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 07.06.1999

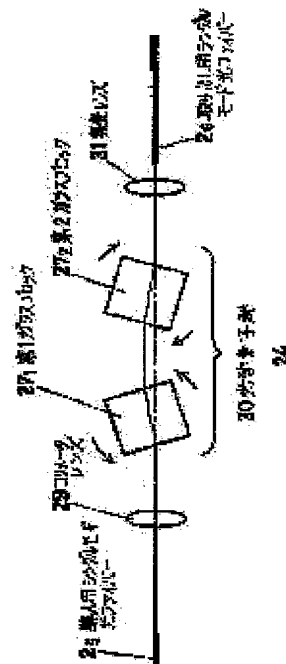
(72)Inventor : HIRATA TADASHI

## (54) OPTICAL TOMOGRAPHIC DIAGNOSTIC APPARATUS

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain good tomographic animation images of the gullet, stomach, intestines, and the like, by obtaining an optical path variable optical system which is high in speed, is wide in a scan range, is less in the intensity change of light and is stable in temperature characteristics.

**SOLUTION:** This optical tomographic diagnostic apparatus is provided with the optical path variable optical system 24 on a reference light side or signal light side at the time of taking an interference signal by dividing the low coherence light from a light source to the signal light and the reference light, and irradiating an observation object with the signal light, then synthesizing the signal light and the reference light again to cause interference and observers the tomographic image of the observation object by changing the optical path length. In such a case, the optical path variable optical system 24 comprises a single mode optical fiber 25 for introduction, a collimator lens 29, a condenser lens 31, a single mode optical fiber 26 for take-out and optical elements 271 and 272 having the faces parallel to each other. The light is passed even number times these optical elements 271 and 272 and is rotated, by which the optical path length is changed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

## [Claim(s)]

[Claim 1] When signal light is made to compound with a reference beam again, an interference system is constituted and an interference signal is taken after coherence length divides into a signal light and reference beam side the low coherence light injected from the short light source and irradiates signal light at an observation body In the optical diagnostic equipment which enabled it to observe the fault structure of an observation body by establishing optical-path-length adjustable optical system, and changing the optical path length to a reference beam or signal light side said optical-path-length adjustable optical system The single mode optical fiber for installation for leading light to said optical-path-length adjustable optical system, The collimator lens for collimating the light from the single mode optical fiber for installation, abbreviation -- with the condenser lens for condensing an parallel light, and the single mode optical fiber for ejection for taking out light The light which consists of optical elements which had an parallel field mutually, and passes said optical-path-length adjustable optical system the optical element which had an parallel field mutually [ the above ] at least -- a \*\*\*\* time -- by passing and rotating the aforementioned optical element which had an parallel field mutually Optical fault diagnostic equipment characterized by being the optical system to which the optical path length between said single mode optical fiber for installation and said single mode optical fiber for ejection is changed.

[Claim 2] The single mode optical fiber said optical-path-length adjustable optical system made said single mode optical fiber for installation, and said single mode optical fiber for ejection use also [ single mode optical fiber ], The positive lens made said collimator lens and said lens for condensing use also [ positive lens ], By it being constituted in order of the aforementioned optical element which had an parallel field mutually, and the optical element which reflects light in the direction to which it came origin, and rotating the aforementioned optical element which had an parallel field mutually Optical fault diagnostic equipment according to claim 1 characterized by being the optical system to which it was made to change the optical path length until the light which came out of said single mode optical fiber returns to said single mode optical fiber again.

[Claim 3] The single mode optical fiber for installation for said optical-path-length adjustable optical system to lead light to said optical-path-length adjustable optical system, A collimator lens, the optical-path-length adjustable optical element group of at least 1 group, and a condenser lens, It is constituted in order of the single mode optical fiber for ejection for taking out light. Said optical-path-length adjustable optical element group It consists of the 1st optical element which had an parallel field mutually, and the 2nd optical element whose spacing of the field which it has an parallel field mutually, and the 1st optical element and refractive index are the same, and is parallel is made of the equal member. By rotating mutually the field where the 1st optical element in said optical-path-length adjustable optical element group is parallel, and the field where the 2nd optical element is parallel at the same include angle as the direction of reverse Optical fault diagnostic equipment according to claim 1 characterized by being the optical system to which it was made to change the optical path length between said single mode optical fiber for installation, and said single mode optical fiber for ejection.

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention relates to the optical system for changing the optical path length in the optical fault diagnostic-equipment system using low coherent light about optical fault diagnostic equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, the equipment with which the coherence

length called OCT (optical fault diagnostic equipment) observes the fault structure of the living body using a short low coherence light is developed.

[0003] After dividing into signal light and a reference beam the light from the light source which generates low coherence light and irradiating signal light at the measuring object, the reflected light from the measuring object is again compounded in observation of the fault structure using low coherence light with a reference beam, and the approach of detecting the interference signal of both light is used for it. It enables only the place which corresponded at this time to acquire the same effectiveness as scanning the location which is observing the measuring object by changing the optical path length by the side of a reference beam or signal light, since an interference signal is acquired, and to observe the fault structure of the measuring object.

[0004] Although drawing 19 applied conventional OCT to the endoscope, it is shown drawing showing the configuration of one example. It is combined with a single mode optical fiber 2, and the light from the low coherence light source 1 is drawn to the location of a coupler 3. Light is divided into a signal light and reference beam side by the coupler 3. The light by the side of the separated reference beam is drawn to the location of the optical-path-length adjustable optical system 4 by the single mode optical fiber 2. The light returned from the optical-path-length adjustable optical system 4 is again drawn to the location of a coupler 3 by the single mode optical fiber. On the other hand, it is led to the signal light side head optical system 5 by the single mode optical fiber 2 different from a reference beam side, a photographic subject O irradiates from there, it is further reflected from a photographic subject O, and the light divided into the signal light side is compounded with the light which has returned from the reference side by the coupler 3 through the signal light side head optical system 5 and a single mode optical fiber 2 again. Even a detector 6 is led by the single mode optical fiber 2, and the return light by the side of the compounded reference and measurement detects an interference signal with a detector 6.

[0005] Drawing 20 is drawing showing the configuration of one example of the optical-path-length adjustable optical system by the side of the conventional reference beam. Optical-path-length adjustable optical system serves as the single mode optical fiber 2 for leading light to optical-path-length adjustable optical system from a coupler 3, a collimator lens 7, and a mirror 8 from the mirror driving gear 9. The mirror 8 is mounted on the mirror driving gear 9, and the location of a mirror 8 changes with mirror driving gears 9 in the direction of an optical axis, consequently the edge of a single mode optical fiber 2 and the optical path length between mirrors 8 change. The approach using piezoelectric devices, such as PZT, as an approach of making a mirror 8 driving in the direction of an optical axis is common.

[0006] As an example of the optical-path-length adjustable optical system by the side of the reference beam of the other former, it is KF.Kwong. There are et.al and optical-path-length adjustable optical system of Opt.Lett.18,558-560 (1993). This optical-path-length adjustable optical system consists of a diffraction grating, a galvanomirror, and a Fourier transformer lens, it is changing the inclination of a galvanomirror to an optical axis, and it gives change of a phase for every wavelength, sees it by changing the group velocity of light within optical system as a result, and changes the older optical path length. Drawing 21 combines these optical-path-length adjustable optical system, such as KF.Kwong, with a single mode optical fiber so that it may be easy to use for an endoscope. K.F. In optical system, such as Kwong, although it is desirable that it is parallel light as for the light which carries out incidence to a diffraction grating 10, generally the light injected from a single mode optical fiber 2 has breadth. So, in this optical system, a collimator lens 7 is formed between the single mode optical fiber 2 for applying parallel light to a diffraction grating 10,

and a diffraction grating 10, and light from a single mode optical fiber is made abbreviation parallel. A Fourier transformer lens is a sign 11 and the sign 12 has shown the galvanomirror.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Conventionally, the needs which OCT tends to look at the fault image of a living body's stomach or intestines for OCT directly by the animation in recent years using an endoscope although things which have a comparatively late motion, such as a fault diagnosis of a retina and an extraction sample, were set as the object of observation, and are going to diagnose the degrees of \*\* of cancer etc. are increase, and optical path length adjustable optical system with the comparatively wide scanning range is desire dramatically at high speed.

[0008] In the conventional example of the type which drives a mirror in the direction of an optical axis, although the comparatively large range can be scanned when scanning at a low speed, when scanning at high speed, the effect of the inertia of a mirror becomes large, and there is nonconformity that the large scanning range cannot be taken.

[0009] Moreover, since the tilt angle of a galvanomirror can take the optical path length's large scanning width of face in the conventional example of the type using a galvanomirror even if it is small, high-speed scanning is possible. However, since the light which returns to a single mode optical fiber 2 would also become like a continuous line to a dotted line and an angle of incidence would change to a single mode optical fiber 2 like drawing 21 if the inclination of a galvanomirror 12 is changed from the condition of a continuous line like the condition of a dotted line when this type of optical-path-length adjustable optical system, a single mode optical fiber 2, and a collimator lens 7 are combined, there was nonconformity that the luminous intensity after passing a single mode optical fiber 2 will change. Moreover, a property tended to change [ a galvanomirror 12 ] with temperature, and, for this reason, there was a fault of being easy to shift if the scanning range leaves as for time amount.

[0010] This invention is made in view of the above-mentioned trouble of the conventional technique, the object is a high speed, its scanning range is wide, there is little change of luminous intensity, and it is acquiring optical-path-length adjustable optical system with the stable temperature characteristic, and obtaining the animation of the fault where an esophagus, the stomach, intestines, etc. are good.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The optical fault diagnostic equipment of this invention which attains the above-mentioned object When signal light is made to compound with a reference beam again, an interference system is constituted and an interference signal is taken after coherence length divides into a signal light and reference beam side the low coherence light injected from the short light source and irradiates signal light at an observation body In the optical diagnostic equipment which enabled it to observe the fault structure of an observation body by establishing optical-path-length adjustable optical system, and changing the optical path length to a reference beam or signal light side said optical-path-length adjustable optical system The single mode optical fiber for installation for leading light to said optical-path-length adjustable optical system, The collimator lens for collimating the light from the single mode optical fiber for installation, abbreviation -- with the condenser lens for condensing an parallel light, and the single mode optical fiber for ejection for taking out light The light which consists of optical elements which had an parallel field mutually, and passes said optical-path-length adjustable optical system the optical element which had an parallel field mutually [ the above ] at least -- a \*\*\*\* time -- by passing and rotating the aforementioned optical element which had an parallel field mutually It is characterized by being the optical system to which the optical path length

between said single mode optical fiber for installation and said single mode optical fiber for ejection is changed.

[0012] In this case, the single mode optical fiber made the single mode optical fiber for installation, and the single mode optical fiber for ejection use optical-path-length adjustable optical system also [ single mode optical fiber ], By rotating the optical element which was constituted in order of the positive lens made the collimator lens and the lens for condensing use also [ positive lens ], the optical element which had an parallel field mutually, and the optical element which reflects light in the direction to which it came origin, and had an parallel field mutually It can consider as the optical system to which it was made to change the optical path length until the light which came out of the single mode optical fiber returns to a single mode optical fiber again.

[0013] Moreover, the single mode optical fiber for installation for leading light to optical-path-length adjustable optical system for optical-path-length adjustable optical system, A collimator lens, the optical-path-length adjustable optical element group of at least 1 group, and a condenser lens, It is constituted in order of the single mode optical fiber for ejection for taking out light. An optical-path-length adjustable optical element group It consists of the 1st optical element which had an parallel field mutually, and the 2nd optical element whose spacing of the field which it has an parallel field mutually, and the 1st optical element and refractive index are the same, and is parallel is made of the equal member. By rotating mutually the field where the 1st optical element in an optical-path-length adjustable optical element group is parallel, and the field where the 2nd optical element is parallel at the same include angle as the direction of reverse It can consider as the optical system to which it was made to change the optical path length between the single mode optical fiber for installation, and the single mode optical fiber for ejection.

[0014]

[Embodiment of the Invention] First, as shown in : drawing 1 explaining the optical-path-length adjustable principle in this invention, parallel light is vertically injected from a flat surface A, and a refractive index  $n$  and thickness pass along the parallel plate glass 21 of  $d$ , and consider what the flat surface B parallel to a flat surface A attains. Parallel plate glass 21 rotates a straight line parallel to X shaft orientations as a shaft. However, the X-axis and a Y-axis are set as a direction vertical to the Z-axis and the Z-axis for the direction of the light injected from a flat surface A.

[0015] The inclination to the Z-axis of the normal of parallel plate glass 21 will only be called inclination of the parallel plate 21. When the inclination of the parallel plate 21 is 0, when the parallel plate 21 inclines [ straight \*\*\*\* ], without refracting light, a beam of light is refracted like drawing 2 like drawing 1 in respect of the plane of incidence of parallel plate glass 21, and injection. Although a gap produces the light after injecting from light and glass 21 before carrying out incidence to glass 21 in Y shaft orientations since the plane of incidence and the injection side of glass 21 are parallel mutually at this time, it is parallel mutually.

[0016] On the basis of optical-path-length [ until the light injected from the flat surface A in case the inclination of parallel plate glass 21 is 0 reaches a flat surface B ]  $L(0)$ , when the inclination of parallel plate glass 21 is  $\theta$ , the optical path length  $L$  of the optical path which arrives at a flat surface B from a flat surface A ( $\theta$ ) has the following relation.

[0017]

$$L(\theta) = L(0) + d \{ 1 - n \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \}$$

... (1)

Therefore, optical-path-length difference  $\Delta L$  at the time of being a time of the include angle of a parallel ray and the normal of parallel plate glass 21 being 0, and  $\theta$

$$\Delta L = L(\theta) - L(0)$$

$$= d \{1 - n \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\} \dots (2)$$

It becomes.

[0018] Moreover, shift-amount  $\Delta Y$  of Y shaft orientations after the parallel plate glass passage to the beam of light before parallel plate glass 21 passage  $\Delta Y = d \sin \theta \{1 - \cos \theta / (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\}$

... (3)

It becomes.

[0019] Thus, if the inclination of parallel plate glass 21 is changed to a beam of light, the optical path length can be changed, but when only one sheet is used, a beam of light shifts parallel plate glass 21 to Y shaft orientations (it will be called the direction shift of Y). However, the direction shift of Y of a beam of light is cancellable if a refractive index and thickness make an equal parallel plate pass light even times mutually.

[0020] Drawing 3 shows the configuration of this approach concretely. The parallel light which parallel light was injected in the vertical direction from Field A, and was injected is the 1st parallel plate glass 211 and the 2nd parallel plate glass 212. It passes and arrives at a flat surface B. The 1st parallel plate glass 211 The 2nd parallel plate glass 212 It is made the thing of the same thickness with the same refractive index, and is the 1st parallel plate glass 211. The 2nd parallel plate glass 212 It inclines or rotates to the reverse sense that it is in phase and mutually. Namely, the 1st parallel plate glass 211 When it  $\theta$  Inclines to incident light, it is the 2nd parallel plate glass 212.  $-\theta$  Make it incline. Thus, when it sets, light is the 1st parallel plate glass 211. Although  $\Delta Y$  shift of is done at Y shaft orientations after passage The 2nd parallel plate glass 212 Since the  $-\Delta Y$  shift of is shortly done by passing at Y shaft orientations The 1st parallel plate glass 211 A beam of light and the 2nd parallel plate glass 212 before carrying out incidence For the beam of light after passing, a gap of the height of Y shaft orientations is parallel plate glass 211 and 212. It is not based on an inclination but is always set to 0.

[0021] They are a time of thickness  $d$ , the parallel plate glass 211 of a refractive index  $n$ , and the inclination of 212 being 0 since light will pass along parallel plate glass twice at this time, and  $\theta$  (at this time). the 1st parallel plate glass 211 an inclination  $-\theta$  and the 2nd parallel plate glass 212 The inclination is  $-\theta$ . Optical-path-length difference  $\Delta L$  at the time  $\Delta L = 2d \{1 - n \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\}$

... (4)

It becomes.

[0022] Here, although light passes along parallel plate glass only twice, if such optical system is connected with a serial and it is made for light to pass a parallel plate even times, it is not necessary to generate the direction shift of Y of a beam of light.

[0023] Moreover, since installation of the light to optical-path-length adjustable optical system and the ejection of the light from optical-path-length adjustable optical system are convenient if you use a single mode optical fiber, and it is hard coming to win popularity the effect of turbulence etc. of air, in an endoscope, a single mode optical fiber is used for the installation to the optical-path-length adjustable optical system of light, and ejection from optical-path-length adjustable optical system.

[0024] When using a single mode optical fiber for installation of optical-path-length adjustable optical system, and optical-path-length adjustable optical-system ejection, in order to combine with the single mode optical fiber for ejection the light which was parallel using a collimator lens with the forward power which makes parallel light from the single mode optical fiber for installation, a condenser lens with forward power is used.

[0025] Since this invention can change the optical path length, without changing whenever [ location / of the light which carries out incidence to the single mode optical fiber for

ejection /, and incident angle ], it can constitute the optical-path-length adjustable optical system stabilized extremely from taking such a configuration based on the above principles. Moreover, by making in agreement the axes of inertia and the revolving shaft of parallel plate glass, and making it rotate, it becomes possible to rotate a high speed of a revolution of parallel plate glass, and it can observe now the fault structure inside a living body by the animation.

[0026]

[Example] Hereafter, :[example 1] drawing 4 explaining the examples 1-8 of the optical fault diagnostic equipment of this invention and drawing 5 are drawings having shown the 1st example of the optical fault diagnostic equipment of this invention, and optical-path-length adjustable optical system. Drawing 4 shows the system of optical fault diagnostic equipment, and drawing 5 shows the part of the optical-path-length adjustable optical system in optical fault diagnostic equipment. The system of the optical fault diagnostic equipment of this example is based on the Michelson interference system.

[0027] The light which came out of the low coherence light source 1 in this example is the 1st single mode optical fiber 21. It passes, passes along the optical circulator 22, and is the 2nd single mode optical fiber 22 further. It passes and is led to a coupler 3. Light is divided into a signal light and reference beam side by the coupler 3.

[0028] The light by the side of signal light is the 3rd single mode optical fiber 23. The light which the measuring object O irradiated through the signal light side head optical system 5, and has returned from the measuring object O is the signal light side head optical system 5 and the 3rd single mode optical fiber 23 again. It passes and returns to a coupler 3.

[0029] On the other hand, the light by the side of the reference beam divided by the coupler 3 is the 4th single mode optical fiber 24. It is led to the optical-path-length adjustable optical system 24. And the light to which the optical path length was changed by the optical-path-length adjustable optical system 24 is the 4th single mode optical fiber 24 by the side of the again same reference beam. It passes and returns to a coupler 3.

[0030] The light which has returned from the signal light side, and the light which has returned from the reference beam side are compounded by the coupler 3. The interference signal compounded by the coupler 3 is the 1st detector 61. The 5th near single mode optical fiber 25 The 2nd single mode optical fiber 22 by the side of the optical circulator 22 It is divided.

[0031] The 1st detector 61 The 5th near single mode optical fiber 25 The interference light which went is the 5th single mode optical fiber 25. It passes and is the 1st detector 61. Detection of optical reinforcement is performed. On the other hand, it is the 2nd single mode optical fiber 22 by the side of the optical circulator 22. The light which went to the direction is the 2nd detector 62 at the optical circulator 22. The 6th near single mode optical fiber 26 It is led selectively and is the 2nd detector 62. Detection of optical reinforcement is performed.

[0032] the 1st detector 61 The 2nd detector 62 difference -- it is a detector, only the component of an interference signal is outputted, and the other component is removed.

[0033] single mode optical fiber (the 4th single mode optical fiber) 24 the single mode optical fiber for installation and the single mode optical fiber for ejection were also [ single mode optical fiber ] used as the optical-path-length adjustable optical system 24 was shown in drawing 5 The positive lens 25 with which the collimator lens and the condenser lens were made to serve a double purpose, and the parallel plate glass 21 which is the optical element which has an parallel field mutually, It is constituted in order of the flat-surface mirror 26 which is the optical element which reflects light in the direction to which it came origin. single mode optical fiber 24 Injected light is made abbreviation parallel with a positive lens 25. from -- It passes along parallel plate glass 21, and it is reflected by the

flat-surface mirror 26, passes along parallel plate glass 21 again, passes along a positive lens 25 further, and is a single mode optical fiber 24. So that it may return Single mode optical fiber 24 The optical axis of the flat-surface mirror 26 doubles with the positive lens 25. moreover, a shaft [ direction / where parallel plate glass 21 is vertical to an optical axis ] -- carrying out -- rotating -- coming -- \*\*\*\* -- this -- single mode optical fiber 24 from -- the light which came out -- again -- the single mode optical fiber 24 The optical path length until it returns is changed.

[0034] Since light has passed parallel plate glass 21 even times with the configuration of this example, it is a single mode optical fiber 24. The returning light does not change a location by revolution of parallel plate glass 21.

[0035] Difference  $\Delta L$  of the optical path length at the time of being the optical path length in case an include angle [ as opposed to an optical axis in the normal of the parallel field of parallel plate glass 21 ] is 0, and  $\Delta L = 2d\{1 - n \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\}$  ... (5)

It becomes. However,  $n$  and  $d$  are the refractive index of parallel plate glass 21, and the thickness of a plane parallel plate 21, respectively.

[0036] When the configuration of this example is made to rotate \*\*\*\* and parallel plate glass 21 a period  $T$ , it is optical-path-length difference  $\Delta L$  in time of day  $t$  ( $t$ ).  $\Delta L(t) = 2d [1 - n |\cos(2\pi t/T + \phi)| + \{n^2 - \sin^2(2\pi t/T + \phi)\}^{1/2}]$  ... (6)

It becomes. Here,  $\phi$  is the inclination of the parallel plate glass 21 at the time of  $t = 0$ . The dotted line of drawing 6 is drawing having shown time amount change of the optical path length at the time of rotating the parallel plate glass 21 of a refractive index 1.5 and thickness 10 a period  $T$ . Since the time amount which KERARE and light do not pass [ a beam of light ] since the magnitude of parallel plate glass 21 is limited actually, if the include angle of parallel plate glass 21 becomes large exists, an optical-path-length difference carries out behavior like a continuous line.

[0037] [Example 2] Drawing 7 is drawing having shown the optical-path-length adjustable optical system of an example 2. An example 2 is what changed only the part of the optical-path-length adjustable optical system 24 of an example 1, and the part of it which others do not illustrate is the same as that of an example 1 including the part of an interferometer.

[0038] In this example, what was parallel plate glass 21 of the optical-path-length adjustable optical system 24 of an example 1 is replaced with the glass block 27 whose cross-section configuration is a square. Moreover, the dotted line A of drawing 8 is the configuration of this example, and shows time amount progress of an optical-path-length difference when the glass block 27 of a refractive index 1.5 and thickness (die length of one side of the square of a cross section) 10 is rotating the period  $T$ .

[0039] If a cross-section configuration uses the square glass block 27 like this example, a beam of light can shorten time amount KERARE \*\*\*\* and others becomes that does not have less. That is, in the example 1, if the tilt angle of parallel plate glass 21 becomes near 90 degree, the time amount in which light stops passing along light by the side face of parallel plate glass 21 in Kel exists for a long time. On the other hand, even if a glass block 27 rotates from the condition that light passes along Field a and Field c of a glass block 27 at first and it stops passing along Field a and Field c by this example as shown in drawing 7 (a) Since light comes to pass along between Field b and Fields d as shown in drawing 7 (b), the top-most vertices of a glass block 27 change into the condition that light always passes along the flux of light except for KETTE striped \*\*\*\*\*. Moreover, in the example 1, while parallel plate glass 21 rotates one time, scanning has the merit which can increase the count of four round trips and scanning to only two round trips having been completed at this example every. In addition, although the cross-section configuration of a glass block 27



was a square, this example can shorten the optical path length's scanning period, even if it does not gather the rotational speed of a glass block, if polygon configurations, such as a forward hexagon and a forward octagon, are taken for a cross-section configuration.

[0040] [Example 3] An example 3 is what replaced only the part of the optical-path-length adjustable optical system of an example 2 with, and the part of it which others do not illustrate is the same as that of an example 2 including the part of an interferometer.

[0041] Drawing 9 is drawing having shown the optical-path-length adjustable optical system of an example 3, and is a single mode optical fiber 24. If the Z-axis is set as an optical axis, drawing where drawing 3 (a) looked at the optical-path-length adjustable optical system of this example from Y shaft orientations, and drawing 3 (b) are drawing seen from X shaft orientations.

[0042] single mode optical fiber (the 4th single mode optical fiber) 24, as for the optical-path-length adjustable optical system of this example, the single mode optical fiber for installation and the single mode optical fiber for ejection were used also [ single mode optical fiber ] The positive lens 25 with which the collimator lens and the condenser lens were made to serve a double purpose, and the glass block 27 from which the cross-section configuration which is the optical element which had an parallel field mutually has a square, It consists of Dach mirror 28 which is the optical-path deflection component which shifts the location of the light which has carried out incidence and an opposite direction is made to inject, and a flat-surface mirror 26 which is the optical element which reflects light in the direction to which it came origin.

[0043] The light in which two reflectors carried out incidence to this Dach mirror 28 by the configuration of Dach mirror 28 being a right angle mutually is shifted in the direction of X, and the sense is changed and injected in an opposite direction.

[0044] The behavior of the light in this example is as follows. single mode optical fiber 24 from -- the glass block 27 after injected light was made abbreviation parallel with the positive lens 25 -- a passage -- after that -- Dach mirror 28 - Z direction -- a travelling direction -- changing -- having -- a thing -- simultaneously -- X -- shaft orientations -- a shift is also received. The light which came out of Dach mirror 28 passes along the again same glass block 27 as a front, and reaches the flat-surface mirror 26. It is reflected in an opposite direction, the path to which it came origin is gone to hard flow, and the light which reached the flat-surface mirror 26 is a single mode optical fiber 24 eventually. Light returns. The path to which it came origin passes along a glass block 27, Dach mirror 28, a glass block 27, and a positive lens 25, and is a single mode optical fiber 24. It is the thing of the returning path.

[0045] The optical path length changes, when a glass block 27 rotates a straight line parallel to the X-axis as a shaft. At this example, since the glass block 27 with an parallel field is passed even times, light is a single mode optical fiber 24. The returning light can be made for a location not to move even if a glass block 27 rotates. moreover -- an example 2 -- light -- single mode optical fiber 24 from -- since light will pass along a glass block 27 by this example 4 times to passing along the glass block 27 with the operation which changes the optical path length twice while returning, after being injected, when the glass block 27 of the same magnitude is used with the same refractive index as an example 2, an optical-path-length difference becomes twice the example 2.

[0046] The continuous line B of drawing 8 is the configuration of this example, and shows time amount progress of an optical-path-length difference when the glass block 27 of a refractive index 1.5 and thickness (die length of one side of the square of a cross section) 10 is rotating the period T. It turns out that the optical-path-length difference is twice the example 2.

[0047] Like this example, an optical-path deflection component like Dach mirror 28 can be

used, and width of face of scanning of the optical path length can be enlarged by letting multiple-times light pass to an optical element with an parallel field.

[0048] In this example, although Dach mirror 28 was used as an optical-path deflection component, as long as prism etc. shifts the location of the light which carried out incidence and can change and inject the sense to an opposite direction, other things are sufficient as an optical-path deflection component.

[0049] [Example 4] Drawing 10 and drawing 11 show the 4th example of the optical fault diagnostic equipment of this invention, and optical-path-length adjustable optical system. Drawing 10 shows the system of optical fault diagnostic equipment, and drawing 11 shows the part of the optical-path-length adjustable optical system in optical fault diagnostic equipment. The system of the optical fault diagnostic equipment of this example is based on the interference system of a MAHHATSUENDA mold.

[0050] The light which came out of the low coherence light source 1 in this example is the 1st single mode optical fiber 21. It passes and is the 1st coupler 31. It is led. The 1st coupler 31 Light is divided into a signal light and reference beam side.

[0051] The light by the side of signal light is the 2nd single mode optical fiber 22. After passing and passing along the optical circulator 22, the measuring object O irradiates through the 3rd single mode optical fiber 23 and the signal light side head optical system 5 further. The light which has returned from the measuring object O is the signal light side head optical system 5 and the 3rd single mode optical fiber 23 again. It passes and even the optical circulator 22 returns. The light by the side of the signal light from which even the optical circulator 22 has returned is the 2nd coupler 32. The 4th connected single mode optical fiber 24 It is selectively led to the direction.

[0052] On the other hand, it is the 1st coupler 31. The light by the side of the divided reference beam is the 5th single mode optical fiber 25 for the installation to the optical-path-length adjustable optical system 24. It is led to the optical-path-length adjustable optical system 24. and the 6th single mode optical fiber 26 for the ejection after the optical path length was changed to the light included in the optical-path-length adjustable optical system 24 it incorporates -- having -- the 2nd coupler 32 up to -- it is led.

[0053] the light drawn from the signal light side, and the light drawn from the reference beam side -- the 2nd coupler 32 it compounds -- having -- an interference signal -- the 2nd coupler 32 from -- it is outputted. The 2nd coupler 32 The compounded interference signal is the 1st detector 61. The 2nd detector 62 It is the 7th and 8th single mode optical fiber 27 and 28, respectively. It is led. the 1st detector 61 The 2nd detector 62 \*\*\*\* -- detection of luminous intensity is performed, respectively. the 1st detector 61 The 2nd detector 62 difference -- it is a detector, only the component of an interference signal is outputted, and the other component is removed.

[0054] The optical-path-length adjustable optical system 24 is the single mode optical fiber 25 for installation for leading light to optical system, as shown in drawing 11 . The collimator lens 29 for collimating the light from the single mode optical fiber 25 for installation, the optical-path-length adjustable optical element group 30, the condenser lens 31 for condensing parallel light, and single mode optical fiber 26 for ejection for taking out light It consists of order.

[0055] moreover, this optical system -- single mode optical fiber 25 for installation from -- the injected light -- a collimator lens 29, the optical-path-length adjustable optical element group 30, and a condenser lens 31 -- a passage -- guru mode fiber 26 for ejection incidence is carried out -- as -- the single mode optical fiber 25 for installation, a collimator lens 29, a condenser lens 31, and single mode optical fiber 26 for ejection It is constituted so that an optical axis may be in agreement. Moreover, the optical-path-length adjustable optical element group 30 is the glass block 271 a refractive index and whose configuration are the

two [ completely same ], and 272. It is constituted. A glass block 271 and 272 The cross-section configuration in which 2 sets of parallel fields exist mutually is using the square thing.

[0056] Two glass blocks 271 of the optical-path-length adjustable optical element group 30, and 272 The parallel field is the device mutually rotated at the same include angle as the direction of reverse, and it is the single mode optical fiber 26 for ejection by this. It is the single mode optical fiber 25 for installation, without the condensing location of light shifting in a location. Single mode optical fiber 25 for ejection He is trying to change the optical path length of a between.

[0057] At this example, it is a glass block 271 and 272. Difference  $\Delta L$  of the optical path length at the time of being the optical path length in case the include angle to the optical axis of the normal of an parallel field is 0 mutually, and  $\theta$   $\Delta L = 2d\{1 - n \cdot \cos\theta + (n^2 - \sin^2\theta)^{1/2}\}$

(However,  $-45 \text{ degrees} < \theta < 45 \text{ degrees}$ ) ... (7)

It becomes. However,  $n$  and  $d$  are a glass block 271 and 272, respectively. A refractive index, a glass block 271, and 272 It is the thickness of a square cross section. The dotted line A of drawing 12 is the glass block 271 of a refractive index 1.8 and the thickness 10 of a square cross section, and 272. Time amount change of the optical path length at the time of making it rotate a period  $T$  is shown.

[0058] [Example 5] Drawing 13 is what replaced only the part of the optical-path-length adjustable optical system of an example 4 with, and the part which others do not illustrate is the same as that of an example 4 including the part of an interferometer. A single mode optical fiber 25 and 26 If the Z-axis is set as an optical axis, drawing which looked at drawing 13 (a) from Y shaft orientations, and drawing 13 R> 3 (b) are drawing which looked at optical-path-length adjustable optical system from X shaft orientations.

[0059] single mode optical fiber 25 for installation by which the optical-path-length adjustable optical system of this example leads the light from the 1st coupler 31 ( drawing 10 ) to the optical-path-length adjustable optical system 24 the 1st GRIN lens (refractive-index distribution lens) 321 as a collimator lens The glass block 27 from which the cross-section configuration which is the optical element which had an parallel field mutually has a square, The optical-path polarizing prism 33 which is the optical-path deflection component which shifts the location of the light which has carried out incidence and an opposite direction is made to inject, and the 2nd GRIN lens 322 as a condenser lens Single mode optical fiber 26 for ejection for taking out light It is constituted. A glass block 27 rotates a straight line parallel to the X-axis as a shaft.

[0060] The light which the cross-section configuration of XZ flat surface of the optical-path polarizing prism 33 has a right-angle 2 equilateral triangle, and carried out incidence to this prism is shifted in the direction of X, and the sense is changed and injected in an opposite direction.

[0061] The behavior of the light in this example is as follows. single mode optical fiber 25 for installation from -- the injected light -- the 1st GRIN lens 321 abbreviation -- parallel -- carrying out -- having had -- after -- a glass block -- 27 -- a passage -- the -- crepuscular rays -- a way -- a polarizing prism -- 33 - a Z direction -- a travelling direction -- changing -- having -- a thing -- simultaneously -- X -- shaft orientations -- a shift -- winning popularity .

[0062] The light which came out of the optical-path polarizing prism 33 is the 2nd GRIN lens 322 after passing along the again same glass block 27 as a front. It is condensed and is the single mode optical fiber 26 for ejection. It is incorporated.

[0063] The optical path length changes, when a glass block 27 rotates a straight line parallel to the X-axis as a shaft. At this example, since the glass block 27 with an parallel field is

passed even times, light is the single mode optical fiber 26 for ejection. It is able to make it, even if a glass block 27 rotates for the condensing location of light not to move in a location.

[0064] At this example, a glass block 27 uses only one piece, but is two glass blocks 271 and 272 like an example 4. In order not to make it rotate doubling a phase with an opposite direction, there is a merit that control of a rolling mechanism becomes easy.

[0065] Although the glass block 27 with the operation to which light changes the optical path length is passed twice in this example, the count to which light passes a glass block 27 is the same as an example 4. Therefore, about the glass block 27 used by this example, when the glass block of the same magnitude is used with the same refractive index as an example 4, an optical-path-length difference becomes the same as an example 4.

[0066] The collimator lens and condenser lens which are used by this example are the GRIN lens 321 and 322. Not but, although the usual positive lens is sufficient, since the thing of a minor diameter is produced [ SELFOC / (trade name) / of for example, the product made from Japanese Sheet glass ] comparatively, a GRIN lens can use optical system as a compact more, if this is used. Moreover, although the cross-section configuration used the prism 33 which carried out the right-angle 2 equilateral triangle as an optical-path deflection component, a Dach mirror etc. is good [ an optical-path deflection component ] anything, if the location of the light which carried out incidence is shifted and the sense is changed and injected in an opposite direction.

[0067] [Example 6] Drawing 14 is what replaced only the part of the optical-path-length adjustable optical system of an example 5 with, and the part which others do not illustrate is the same as that of an example 5 including the part of an interferometer. A single mode optical fiber 25 and 26 If the Z-axis is set as an optical axis, drawing which looked at drawing 14 (a) from Y shaft orientations, and drawing 14 R> 4 (b) are drawing which looked at optical-path-length adjustable optical system from X shaft orientations.

[0068] single mode optical fiber 25 for installation by which the optical-path-length adjustable optical system of this example leads the light from the 1st coupler 31 ( drawing 10 ) to the optical-path-length adjustable optical system 24 The 1st GRIN lens 321 as a collimator lens The glass block 27 from which the cross-section configuration which is the optical element which had an parallel field mutually has a square, the 1st which is three optical-path deflection components which shift the location of the light which has carried out incidence, and an opposite direction is made to inject - the 3rd optical-path polarizing prism 331, 332, and 333 The 2nd GRIN lens 322 as a condenser lens Single mode optical fiber 26 for ejection for taking out light It is constituted. A glass block 27 rotates a straight line parallel to the X-axis as a shaft.

[0069] The 1st - the 3rd optical-path polarizing prism 331, 332, and 333 The light which each cross-section configuration of XZ flat surface has a right-angle 2 equilateral triangle, and carried out incidence to these prism is shifted in the direction of X, and the sense is changed and injected in an opposite direction.

[0070] The behavior of the light in this example is as follows. single mode optical fiber 25 for installation from -- the injected light -- the 1st GRIN lens 321 the glass block 27 after being made abbreviation parallel -- a passage -- after that -- the 1st optical-path polarizing prism 331 A travelling direction's being changeable into - Z direction, simultaneously X shaft orientations are shifted. The 1st optical-path polarizing prism 331 The light which came out is the 2nd optical-path polarizing prism 332 after passing along the again same glass block 27 as a front. It is shifted to X shaft orientations at that a travelling direction is changeable into a Z direction, and coincidence. The 2nd optical-path polarizing prism 332 The light which came out is the 3rd optical-path polarizing prism 333 after passing along the again same glass block 27 as a front. The shift of X shaft orientations is passed along

the again same glass block 27 as a front after a carrier beam in that a travelling direction is changeable into - Z direction again, and coincidence. And it is the 2nd GRIN lens 322 eventually. It is condensed and is the single mode optical fiber 26 for ejection. It is incorporated.

[0071] The optical path length changes, when a glass block 27 rotates a straight line parallel to the X-axis as a shaft.

[0072] Moreover, at this example, light is the single mode optical fiber 26 for ejection, even if a glass block 27 rotates, since the glass block 27 with an parallel field is passed even times. The condensing location of the upper light can be made not to move.

[0073] Moreover, in an example 4 or 5, since light will pass along a glass block 27 by this example 4 times to passing along the glass block 27 with the operation which changes the optical path length twice while returning, after light is injected from a single mode optical fiber, when the glass block of the same magnitude is used with an example 4 or the same refractive index as 5, an optical-path-length difference becomes an example 4 or twice the value of 5.

[0074] Thus, the optical-path deflection optical system 331, 332, and 333 It uses, and the scanning range of the optical path length can be enlarged without enlarging magnitude of a glass block 27 by letting multiple-times light pass to a glass block 27.

[0075] The continuous line B of drawing 12 is the configuration of this example, and shows time amount progress of an optical-path-length difference when the glass block 27 of a refractive index 1.8 and thickness (die length of one side of the square of a cross section) 10 is rotating the period T. It turns out that the optical-path-length difference is an example 4 or twice the value of 5.

[0076] The prism 331 with which the cross-section configuration carried out the right-angle 2 equilateral triangle as an optical-path deflection component in this example, 332, and 333 Although it was used, the Dach mirror of an optical-path deflection component etc. is good anything, if the location of the light which carried out incidence is shifted and the sense is changed and injected in an opposite direction.

[0077] [Example 7] Drawing 15 is what replaced only the part of the optical-path-length adjustable optical system of an example 6 with, and the part which others do not illustrate is the same as that of an example 6 including the part of an interferometer. A single mode optical fiber 25 and 26 If the Z-axis is set as an optical axis, drawing which looked at drawing 15 (a) from Y shaft orientations, and drawing 15 R> 5 (b) are drawing which looked at optical-path-length adjustable optical system from X shaft orientations.

[0078] single mode optical fiber 25 for installation by which the optical-path-length adjustable optical system of this example leads the light from the 1st coupler 31 ( drawing 10 ) to the optical-path-length adjustable optical system 24 the 1st GRIN lens 321 as a collimator lens The 2nd GRIN lens 322 as a condenser lens single mode optical fiber 26 for ejection for taking out light Two glass blocks 271 and 272 from -- it consists of a becoming optical-path-length adjustable optical element group 30 and an optical-path deflection component 35 which shift the location of the light which has carried out incidence and an opposite direction is made to inject.

[0079] The optical-path-length adjustable optical element group 30 is the 1st glass block 271 which is the 1st optical element. The 2nd glass block 272 which is the 2nd optical element It is constituted. The 1st glass block 271 The 2nd glass block 272 Both the cross-section configurations of XZ flat surface are carrying out the square, and a configuration is the same as a refractive index.

[0080] Two glass blocks 271 of the optical-path-length adjustable optical element group 30, and 272 The parallel field is the device mutually rotated at the same include angle as the direction of reverse.

[0081] The configuration of the optical-path deflection component 35 is the 3rd GRIN lens 323 as a condenser lens for optical-path deflection components for condensing to the single mode optical fiber 34 for an optical-path deflection, and its single mode optical fiber 34 for an optical-path deflection. The 4th GRIN lens 324 as a collimator lens for optical-path deflection components for making abbreviation parallel injection light from the single mode optical fiber 34 for an optical-path deflection It is constituted. Moreover, since the incidence side edge side and injection side edge side of the single mode optical fiber 34 for an optical-path deflection are arranged in the same direction by juxtaposition in the direction of X, the optical-path deflection component 35 shifts the light which carried out incidence to the single mode optical fiber 34 for optical-path deflection components in the direction of X, and has the operation which the sense changes and injects to an opposite direction.

[0082] The behavior of the light in this example is as follows. single mode optical fiber 25 for installation from -- the injected light -- the 1st GRIN lens 321 abbreviation -- parallel -- carrying out -- having had -- after -- the optical path length -- adjustable -- the elements -- 30 -- a passage -- the -- crepuscular rays -- a way -- a deflection -- a component -- 35 - a Z direction -- a travelling direction -- changing -- having -- a thing -- simultaneously -- X -- shaft orientations -- shifting -- having . The light which came out of the optical-path deflection component 35 is the 2nd GRIN lens 322 after passing along the again same optical-path-length adjustable elements 30 as a front. It is condensed and is the single mode optical fiber 26 for ejection. It is incorporated.

[0083] Change of the optical path length is two glass blocks 271 of the optical-path-length adjustable optical element group 30, and 272. Although carried out by rotating at the same include angle as the direction of reverse mutually single mode optical fiber 25 for installation from, when the injected light reaches the incidence end face of the optical-path deflection single mode optical fiber 34 And single mode optical fiber 26 for ejection When reaching an end face, it is a glass block 271 and 272. Since it passes even times, it is a glass block 271 and 272. Even if it rotates, the condensing location of light changes.

[0084] Since the count to which light passes a glass block is 4 times, time amount progress of the optical-path-length difference when rotating the period of a revolution of the glass block of a refractive index 1.8 and thickness (die length of one side of the square of a cross section) 10 by T with the configuration of this example becomes the same as an example 6.

[0085] This example is also the same glass block 271 and 272 like an example 6. Width of face of scanning of the optical path length can be enlarged by letting multiple-times light pass. Moreover, GRIN lens 321-324 Miniaturization of optical system is attained by using.

[0086] Moreover, the 3rd GRIN lens 323 which is a condenser lens of the optical-path deflection component 35 in this example And although the 4th GRIN lens 324 which is a collimator lens for optical-path deflection components is in the same side to the optical-path-length adjustable elements 30 the 3rd GRIN lens 323 which are the incidence side of the single mode optical fiber 34 for an optical-path deflection of the optical-path deflection component 35, and a condenser lens of the optical-path deflection component 35 as shown in drawing 16 The 4th GRIN lens 324 as the injection side of the single mode optical fiber 34 for an optical-path deflection, and a collimator lens for optical-path deflection components Even if it makes it arrange to an opposite hand on both sides of the optical-path-length adjustable elements 30, the same operation as the case of drawing 15 is acquired.

[0087] [Example 8] Drawing 17 is what replaced only the part of the optical-path-length adjustable optical system of an example 6 with, and the part which others do not illustrate is the same as that of an example 6 including the part of an interferometer. A single mode optical fiber 25 and 26 If the Z-axis is set as an optical axis, drawing which looked at

drawing 17 (a) from Y shaft orientations, and drawing 17 R> 7 (b) are drawing which looked at optical-path-length adjustable optical system from X shaft orientations.

[0088] single mode optical fiber 25 for installation by which the optical-path-length adjustable optical system of this example leads the light from the 1st coupler 31 ( drawing 10 ) to the optical-path-length adjustable optical system 24 the 1st GRIN lens 321 as a collimator lens The 2nd GRIN lens 322 as a condenser lens single mode optical fiber 26 for ejection for taking out light two glass blocks 271 and 272 from -- the 1st and 2nd optical-path deflection component 351 which shifts the location of the light which has carried out incidence to the becoming optical-path-length adjustable optical element group 30, and an opposite direction is made to inject, and 352 It is constituted.

[0089] The optical-path-length adjustable optical element group 30 is the 1st glass block 271 which is the 1st optical element. The 2nd glass block 272 which is the 2nd optical element It is constituted. The 1st glass block 271 The 2nd glass block 272 Both the cross-section configurations of XZ flat surface are carrying out the forward hexagon, and a configuration is the same as a refractive index.

[0090] Two glass blocks 271 of the optical-path-length adjustable optical element group 30, and 272 The parallel field is the device mutually rotated at the same include angle as the direction of reverse.

[0091] the 1st optical-path deflection component 351 a configuration -- single mode optical fiber 341 for the 1st optical-path deflection The 3rd GRIN lens 323 as a condenser lens for optical-path deflection components for condensing The single mode optical fiber 341 for the 1st optical-path deflection from -- the 4th GRIN lens 324 as a collimator lens for optical-path deflection components for making injection light abbreviation parallel It is constituted. Moreover, single mode optical fiber 341 for the 1st optical-path deflection Since juxtaposition arranges the incidence side edge side and the injection side edge side in the same direction in the direction of X, it is the 1st optical-path deflection component 351. Single mode optical fiber 341 for optical-path deflection components The light which carried out incidence is shifted in the direction of X, and there is an operation which the sense changes and injects to an opposite direction.

[0092] moreover, the 2nd optical-path deflection component 352 a configuration -- single mode optical fiber 342 for the 2nd optical-path deflection The 5th GRIN lens 325 as a condenser lens for optical-path deflection components for condensing The single mode optical fiber 342 for the 2nd optical-path deflection from -- the 6th GRIN lens 326 as a collimator lens for optical-path deflection components for making injection light abbreviation parallel It is constituted. Moreover, single mode optical fiber 342 for the 2nd optical-path deflection Since juxtaposition arranges the incidence side edge side and the injection side edge side in the same direction in the direction of X, it is the 2nd optical-path deflection component 352. Single mode optical fiber 342 for optical-path deflection components The light which carried out incidence is shifted in the direction of X, and there is an operation which the sense changes and injects to an opposite direction.

[0093] The behavior of the light in this example is as follows. single mode optical fiber 25 for installation from -- the injected light -- the 1st GRIN lens 321 the optical-path-length [ after being made abbreviation parallel ] adjustable elements 30 -- a passage -- after that -- the 1st optical-path deflection component 351 A travelling direction's being changeable into - Z direction, simultaneously X shaft orientations are shifted. The 1st optical-path deflection component 351 After the light which came out passes along the again same optical-path-length adjustable elements 30 as a front, it is shifted to X shaft orientations at that a travelling direction is changeable into a Z direction with the 2nd optical-path deflection component 352, and coincidence. And after passing along the again same optical-path-length adjustable optical element group 30 as a front, it is condensed with the

2nd GRIN lens 322, and it is the single mode optical fiber 26 for ejection. It is incorporated. [0094] Time amount progress of the optical-path-length difference at the time of making drawing 18 rotate the period of a revolution of the glass block of a refractive index 1.8 and thickness (mutually spacing of an parallel field) 10 by T with the configuration of this example is shown.

[0095] Change of the optical path length is two glass blocks 271 of the optical-path-length adjustable optical element group 30, and 272. Although carried out by rotating at the same include angle as the direction of reverse mutually single mode optical fiber 25 for installation from -- the injected light -- the optical-path deflection single mode optical fiber 341 and 342 When reaching an end face (both plane of incidence and a injection side) And single mode optical fiber 26 for ejection When reaching an end face, it is a glass block 271 and 272. Since it passes even times, it is a glass block 271 and 272. Even if it rotates, the condensing location of light changes.

[0096] This example is a glass block 271 and 272. Since the cross-section configuration is carrying out the forward hexagon, it is a glass block 271 and 272. While rotating one time, scanning is 6 round-trip \*\*\*\*\*.

[0097] Thus, a glass block 271 and 272 It is a glass block 271 and 272 by increasing the number of the top-most vertices of a forward hexagon, a forward octagon, and a polygon configuration for a cross-section configuration from a forward square. The scanning high-speed [ but ] with the same rotational frequency is attained. However, if the number of the top-most vertices of a polygon configuration is increased, since scanning width of face will become small, it is the optical-path deflection component 351 and 352. The count which uses a large number and passes along the optical-path-length adjustable optical element group 30 is increased, and scanning width of face is enlarged.

[0098] In addition, although all the optical elements with at least 1 set of parallel fields were constituted from the above examples 1-8 by glass, it cannot be overemphasized that what is necessary is just the thing which light, such as plastics for optics, is penetrated [ thing ] and makes them refracted, for example that optical-path-length adjustable optical system may be prepared not only in a reference beam side but in a signal light side.

[0099] The optical fault diagnostic equipment of the above this invention is : which can be constituted as follows, for example [1]. The low coherence light by which coherence length was injected from the short light source is divided into a signal light and reference beam side. When signal light is made to compound with a reference beam again, an interference system is constituted and an interference signal is taken after irradiating signal light at an observation body In the optical diagnostic equipment which enabled it to observe the fault structure of an observation body by establishing optical-path-length adjustable optical system, and changing the optical path length to a reference beam or signal light side said optical-path-length adjustable optical system The single mode optical fiber for installation for leading light to said optical-path-length adjustable optical system, The collimator lens for collimating the light from the single mode optical fiber for installation, abbreviation -- with the condenser lens for condensing an parallel light, and the single mode optical fiber for ejection for taking out light The light which consists of optical elements which had an parallel field mutually, and passes said optical-path-length adjustable optical system the optical element which had an parallel field mutually [ the above ] at least -- a \*\*\*\* time -- by passing and rotating the aforementioned optical element which had an parallel field mutually Optical fault diagnostic equipment characterized by being the optical system to which the optical path length between said single mode optical fiber for installation and said single mode optical fiber for ejection is changed.

[0100] [2] The single mode optical fiber said optical-path-length adjustable optical system made said single mode optical fiber for installation, and said single mode optical fiber for



ejection use also [ single mode optical fiber ], The positive lens made said collimator lens and said lens for condensing use also [ positive lens ], By it being constituted in order of the aforementioned optical element which had an parallel field mutually, and the optical element which reflects light in the direction to which it came origin, and rotating the aforementioned optical element which had an parallel field mutually Optical fault diagnostic equipment of one above-mentioned publication characterized by being the optical system to which it was made to change the optical path length until the light which came out of said single mode optical fiber returns to said single mode optical fiber again.

[0101] [3] The single mode optical fiber said optical-path-length adjustable optical system made said single mode optical fiber for installation, and said single mode optical fiber for ejection use also [ single mode optical fiber ], The positive lens made said collimator lens and said lens for condensing use also [ positive lens ], The aforementioned optical element which had an parallel field mutually, and the optical element which reflects light in the direction to which it came origin, By consisting of an optical-path deflection component which makes an parallel direction or an parallel opposite direction shift and inject the location of at least one light which has carried out incidence, and rotating the aforementioned optical element which had an parallel field mutually Optical fault diagnostic equipment of one above-mentioned publication characterized by being the optical system to which it was made to change the optical path length until the light which came out of said single mode optical fiber returns to said single mode optical fiber again.

[0102] [4] The single mode optical fiber for installation for said optical-path-length adjustable optical system to lead light to said optical-path-length adjustable optical system, A collimator lens, the optical-path-length adjustable optical element group of at least 1 group, and a condenser lens, It is constituted in order of the single mode optical fiber for ejection for taking out light. Said optical-path-length adjustable optical element group It consists of the 1st optical element which had an parallel field mutually, and the 2nd optical element whose spacing of the field which it has an parallel field mutually, and the 1st optical element and refractive index are the same, and is parallel is made of the equal member. By rotating mutually the field where the 1st optical element in said optical-path-length adjustable optical element group is parallel, and the field where the 2nd optical element is parallel at the same include angle as the direction of reverse Optical fault diagnostic equipment of one above-mentioned publication characterized by being the optical system to which it was made to change the optical path length between said single mode optical fiber for installation, and said single mode optical fiber for ejection.

[0103] [5] The single mode optical fiber for installation for said optical-path-length adjustable optical system to lead light to said optical-path-length adjustable optical system, A collimator lens, a condenser lens, and the single mode optical fiber for ejection for taking out light out of said optical-path-length adjustable optical system, By consisting of an optical element which had an parallel field mutually, and an optical-path deflection component which makes an parallel direction or an parallel opposite direction shift and inject the location of at least one light which has carried out incidence, and rotating the aforementioned optical element which had an parallel field mutually Optical fault diagnostic equipment of one above-mentioned publication characterized by being the optical system to which it was made to change the optical path length between said single mode optical fiber for installation, and said single mode optical fiber for ejection.

[0104] [6] The single mode optical fiber for installation for said optical-path-length adjustable optical system to lead light to said optical-path-length adjustable optical system, A collimator lens, a condenser lens, and the single mode optical fiber for ejection for taking out light out of said optical-path-length adjustable optical system, It consists of an optical element group of at least 1 group, and an optical-path deflection component which makes

an parallel direction or an parallel opposite direction shift and inject the location of at least one light which has carried out incidence. Further said optical element group It consists of the 1st optical element which had an parallel field mutually, and the 2nd optical element whose spacing of the field which it has an parallel field mutually, and the 1st optical element and refractive index are the same, and is parallel is made of the equal member. By rotating mutually the field where the 1st optical element in said optical element group is parallel, and the field where the 2nd optical element is parallel at the same include angle as the direction of reverse Optical fault diagnostic equipment of one above-mentioned publication characterized by being the optical system to which it was made to change the optical path length between said single mode optical fiber for installation, and said single mode optical fiber for ejection.

[0105] [7] Said optical-path deflection component is optical fault diagnostic equipment the above 3 and 5 characterized by being the Dach mirror which had a right-angled field mutually, or given in six.

[0106] [8] Said optical-path deflection component is optical fault diagnostic equipment the above 3 and 5 characterized by being a rectangular prism, or given in six.

[0107] [9] Said optical-path deflection component is the optical fault diagnostic equipment of six above-mentioned publication characterized by to consist of a condenser lens for optical-path deflection components for condensing to the single mode optical fiber for an optical-path deflection, and said single mode optical fiber for an optical-path deflection, and a collimator lens for optical-path deflection components for making abbreviation parallel injection light from said single mode optical fiber for an optical-path deflection, and for the incidence side edge side and the injection side edge side of said single mode optical fiber for an optical-path deflection to be constituted by juxtaposition.

[0108] [10] The aforementioned optical element which had an parallel field mutually is the optical fault diagnostic equipment of nine given in any 1 term from the above 1 characterized by being the thing of a polygon configuration.

[0109]

[Effect of the Invention] By using the optical-path-length adjustable optical system by the above this invention, the optical fault diagnostic equipment of this invention is a high speed, its scanning range can be wide, and there can be little change of luminous intensity, can acquire optical-path-length adjustable optical system with the stable temperature characteristic, and can observe tomograms, such as an esophagus, and the stomach, intestines, by the good animation.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-342589

(P2000-342589A)

(43) 公開日 平成12年12月12日 (2000. 12. 12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マ-ト\* (参考)

A 6 1 B 10/00

A 6 1 B 10/00

E 2 G 0 5 9

G 0 1 N 21/17

G 0 1 N 21/17

6 3 0

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平11-159270

(22) 出願日 平成11年6月7日 (1999. 6. 7)

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 平田唯史

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100097777

弁理士 並澤 弘 (外7名)

Fターム(参考) 2G059 AA03 BB12 EE09 FF01 FF08

JJ05 JJ11 JJ17 JJ19 JJ30

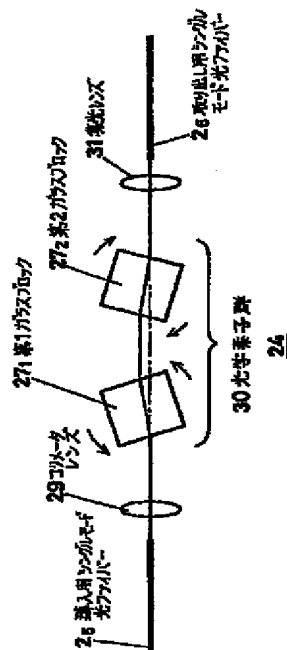
KK04 LL01

(54) 【発明の名称】 光断層診断装置

(57) 【要約】

【課題】 高速で、スキャン範囲が広く、光の強度の変化が少なく、温度特性が安定な光路長可変光学系を得て、食道や胃、腸等の良好な断層の動画を得る。

【解決手段】 光源1からの低コヒーレンス光を信号光と参照光に分け、信号光を観察物体に照射した後再び信号光を参照光と合成させて干渉させ、干渉信号を取るときに、参照光側又は信号光側に光路長可変光学系を設けて光路長を変化させることにより観察物体の断層構造を観察する光診断装置において、光路長可変光学系24は、導入用シングルモード光ファイバー25と、コリメータレンズ29と、集光レンズ31と、取り出し用シングルモード光ファイバー26と、互いに平行な面を持った光学素子27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>で構成され、その光学素子27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>を複数回通過させ、かつ、回転させることで光路長を変化させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 コヒーレンス長が短い光源から射出された低コヒーレンス光を信号光側と参照光側に分け、信号光を観察物体に照射した後、再び信号光を参照光と合成させて干渉系を構成し、干渉信号を取るときに、参照光側又は信号光側に光路長可変光学系を設けて光路長を変化させることにより観察物体の断層構造を観察できるようにした光診断装置において、

前記光路長可変光学系は、前記光路長可変光学系に光を導くための導入用シングルモード光ファイバーと、その導入用シングルモード光ファイバーからの光をコリメートするためのコリメータレンズと、略平行な光を集光するための集光レンズと、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーと、互いに平行な面を持った光学素子で構成され、前記光路長可変光学系を通過する光は、少なくとも前記の互いに平行な面を持った光学素子を複数回通過するようになっており、かつ、前記の互いに平行な面を持った光学素子を回転させることで、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようになっている光学系であることを特徴とする光断層診断装置。

【請求項2】 前記光路長可変光学系は、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーを兼用させたシングルモード光ファイバーと、前記コリメータレンズと前記集光用レンズを兼用させた正レンズと、前記の互いに平行な面を持った光学素子と、光を元きた方向へ反射する光学素子の順に構成され、前記の互いに平行な面を持った光学素子を回転させることで、前記シングルモード光ファイバーから出た光が再び前記シングルモード光ファイバーに戻るまでの光路長を変化させるようにした光学系であることを特徴とする請求項1記載の光断層診断装置。

【請求項3】 前記光路長可変光学系は、光を前記光路長可変光学系に導くための導入用シングルモード光ファイバーと、コリメータレンズと、少なくとも1群の光路長可変光学素子群と、集光レンズと、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーの順で構成され、

前記光路長可変光学素子群は、互いに平行な面を持った第1の光学素子と、互いに平行な面を持っており第1の光学素子と屈折率が同じで平行になっている面の面間隔が等しい部材でできている第2の光学素子とで構成され、

前記光路長可変光学素子群の中の第1の光学素子の平行な面と第2の光学素子の平行な面を互いに反対の方向に同じ角度で回転させることによって、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようにした光学

系であることを特徴とする請求項1記載の光断層診断装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光断層診断装置に関し、特に、低コヒーレント光を用いた光断層診断装置システムにおける光路長を変えるための光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、OCT（光断層診断装置）と言われる可干渉距離が短い低コヒーレンス光を用いた生体の断層構造を観察する装置が開発されている。

【0003】 低コヒーレンス光を用いた断層構造の観察には、低コヒーレンス光を発生させる光源からの光を信号光と参照光とに分離し、信号光を測定対象に照射した後、測定対象からの反射光を再び参照光と合成し、両者の光の干渉信号を検出する方法を用いる。このとき、信号光と参照光の光路長が一致したところだけ干渉信号が得られるので、参照光側又は信号光側の光路長を変化させることによって測定対象の観察している場所をスキャンしているのと同じ効果が得られ、測定対象の断層構造を観察することが可能となる。

【0004】 図19は、従来のOCTを内視鏡に応用したものの1例の構成を示す図である。低コヒーレンス光源1からの光はシングルモード光ファイバー2に結合され、カップラー3の位置まで導かれる。カップラー3により光は信号光側と参照光側とに分離される。分離された参照光側の光はシングルモード光ファイバー2で光路長可変光学系4の位置まで導かれる。光路長可変光学系4から戻された光は再びシングルモード光ファイバーでカップラー3の位置まで導かれる。一方、信号光側に分離された光は参照光側とは別のシングルモード光ファイバー2で信号光側先端光学系5まで導かれ、そこから被写体Oに照射され、さらに被写体Oから反射され、再び信号光側先端光学系5、シングルモード光ファイバー2を通過してカップラー3で参照側から戻ってきた光と合成される。合成された参照側と測定側の戻り光はシングルモード光ファイバー2でディテクター6まで導かれ、ディテクター6で干渉信号を検出する。

【0005】 図20は従来の参照光側の光路長可変光学系の1例の構成を示す図である。光路長可変光学系は、カップラー3から光路長可変光学系へ光を導くためのシングルモード光ファイバー2と、コリメータレンズ7と、ミラー8と、ミラー駆動装置9からなっている。ミラー8はミラー駆動装置9にマウントされており、ミラー駆動装置9によってミラー8の位置が光軸方向に変化するようになっており、その結果、シングルモード光ファイバー2の端部とミラー8間の光路長が変化するようになっている。ミラー8を光軸方向に駆動させる方法としては、PZT等の圧電素子を用いる方法が一般的であ

る。

【0006】その他の従来の参照光側の光路長可変光学系の例としては、K. F. Kwong et. al, Opt. Lett. 18, 558~560 (1993) の光路長可変光学系がある。この光路長可変光学系は、回折格子とガルバノミラーとフーリエ変換レンズとで構成され、ガルバノミラーの傾きを光軸に対して変化させることで、波長毎に位相の変化を与え、結果として光学系内の光の群速度を変化させることで見かけ上の光路長を変化させるものである。図21は、このK. F. Kwong等の光路長可変光学系を、内視鏡に使いやすいようにシングルモード光ファイバーと結合させたものである。K. F. Kwong等の光学系では、回折格子10に入射させる光は平行光であることが望ましいが、シングルモード光ファイバー2から射出される光は一般的には広がりを持つ。そこで、この光学系では、回折格子10に平行光を当てるためのシングルモード光ファイバー2と回折格子10の間にコリメータレンズ7を設けてシングルモード光ファイバーからの光を略平行にしている。フーリエ変換レンズは符号11で、ガルバノミラーは符号12で示してある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来、OCTは、網膜の断層診断、摘出標本等の比較的動きが遅いものが観察の対象になっていたが、近年では、OCTを内視鏡を用いて、生体の胃や腸の断層映像を動画で直接見て癌の進捗速度等を診断しようとするニーズが高まってきており、非常に高速でスキャン範囲が比較的に広い光路長可変光学系が望まれている。

【0008】ミラーを光軸方向に駆動するタイプの従来例では、低速でスキャンする場合は比較的に広い範囲をスキャンすることができるが、高速でスキャンする場合はミラーの慣性の影響が大きくなり、スキャン範囲が広く取れないという不具合がある。

【0009】また、ガルバノミラーを使ったタイプの従来例では、ガルバノミラーの傾斜角は小さくても光路長のスキャン幅を大きく取れるので、高速なスキャンが可能である。しかし、図21のように、このタイプの光路長可変光学系とシングルモード光ファイバー2とコリメータレンズ7を結合させた場合は、ガルバノミラー12の傾きを実線の状態から点線の状態のように変化させると、シングルモード光ファイバー2に戻る光も実線から点線のようになり、シングルモード光ファイバー2へ入射角が変化するため、シングルモード光ファイバー2を通過した後の光の強度が変化してしまうという不具合があった。また、ガルバノミラー12が温度によって特性が変化しやすく、このため、スキャン範囲が時間たつとずれてきてしまいやすいという欠点があった。

【0010】本発明は従来技術の上記問題点を鑑みてなされたものであり、その目的は、高速で、スキャン範囲

が広く、光の強度の変化が少なく、温度特性が安定な光路長可変光学系を得て、食道や胃、腸等の良好な断層の動画を得ることである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成する本発明の光断層診断装置は、コヒーレンス長が短い光源から射出された低コヒーレンス光を信号光側と参照光側に分け、信号光を観察物体に照射した後、再び信号光を参照光と合成させて干渉系を構成し、干渉信号を取るときに、参照光側又は信号光側に光路長可変光学系を設けて光路長を変化させることにより観察物体の断層構造を観察できるようにした光断層装置において、前記光路長可変光学系は、前記光路長可変光学系に光を導くための導入用シングルモード光ファイバーと、その導入用シングルモード光ファイバーからの光をコリメートするためのコリメータレンズと、略平行な光を集光するための集光レンズと、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーと、互いに平行な面を持った光学素子で構成され、前記光路長可変光学系を通過する光は、少なくとも前記の互いに平行な面を持った光学素子を複数回通過するようになっており、かつ、前記の互いに平行な面を持った光学素子を回転させることで、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようになっている光学系であることを特徴とするものである。

【0012】この場合、光路長可変光学系を、導入用シングルモード光ファイバーと取り出し用シングルモード光ファイバーを兼用させたシングルモード光ファイバーと、コリメータレンズと集光用レンズを兼用させた正レンズと、互いに平行な面を持った光学素子と、光を元きた方向へ反射する光学素子の順に構成され、互いに平行な面を持った光学素子を回転させることで、シングルモード光ファイバーから出た光が再びシングルモード光ファイバーに戻るまでの光路長を変化させるようにした光学系とすることができる。

【0013】また、光路長可変光学系を、光を光路長可変光学系に導くための導入用シングルモード光ファイバーと、コリメータレンズと、少なくとも1群の光路長可変光学素子群と、集光レンズと、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーの順で構成され、光路長可変光学素子群は、互いに平行な面を持った第1の光学素子と、互いに平行な面を持っており第1の光学素子と屈折率が同じで平行になっている面の面間隔が等しい部材でできている第2の光学素子とで構成され、光路長可変光学素子群の中の第1の光学素子の平行な面と第2の光学素子の平行な面を互いに反対の方向に同じ角度で回転させることによって、導入用シングルモード光ファイバーと取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようにした光学系とすることができる。

【0014】

【発明の実施の形態】まず、本発明における光路長可変の原理について説明する：図1に示すように、平面Aから垂直に平行光が射出され、屈折率 $n$ 、厚さが $d$ の平行平板ガラス21を通り、平面Aに平行な平面Bの達するものを考える。平行平板ガラス21はX軸方向と平行な直線を軸として回転するようになっている。ただし、平面Aから射出される光の方向をZ軸、Z軸に垂直な方向をX軸、Y軸とする。

【0015】平行平板ガラス21の法線のZ軸に対する傾きを単に平行平板21の傾きと言うことにする。平行平板21の傾きが0の場合は、図1のように光は屈折さ

$$L(\theta) = L(0) + d \{1 - n - \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\} \quad \dots (1)$$

したがって、平行光線と平行平板ガラス21の法線の角※ ※度が0のときと $\theta$ のときの光路長差 $\Delta L$ は、

$$\Delta L = L(\theta) - L(0) = d \{1 - n - \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\} \quad \dots (2)$$

となる。

【0018】また、平行平板ガラス21通過前の光線に★

$$\Delta Y = d \cdot \sin \theta \{1 - \cos \theta / (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\} \quad \dots (3)$$

となる。

【0019】このように、光線に対して平行平板ガラス21の傾きを変化させると、光路長を変化させることができるが、平行平板ガラス21を1枚のみを使用した場合には、Y軸方向に光線がシフトしてしまう（Y方向シフトと呼ぶことにする。）。しかし、光線のY方向シフトは、屈折率と厚さが互いに等しい平行平板に光を偶数回通過させるとキャンセルすることができる。

【0020】図3は、この方法の構成を具体的に示したものである。面Aからは垂直な方向に平行光が射出され、射出された平行光は第1平行平板ガラス21<sub>1</sub>、第2平行平板ガラス21<sub>2</sub>を通過し、平面Bに到達するようになっている。第1平行平板ガラス21<sub>1</sub>と第2平行平板ガラス21<sub>2</sub>は同じ屈折率で同じ厚さのものにしておき、第1平行平板ガラス21<sub>1</sub>と第2平行平板ガラス21<sub>2</sub>は同位相で互いに反対向きに傾斜又は回転するよ

$$\Delta L = 2d \{1 - n - \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\} \quad \dots (4)$$

となる。

【0022】ここでは、光は平行平板ガラスを2回しか通っていないが、このような光学系を直列に繋いで光が平行平板を偶数回通過するようにしてやれば、光線のY方向シフトを発生させないですむ。

【0023】また、光路長可変光学系への光の導入、及び、光路長可変光学系からの光の取り出しは、シングルモード光ファイバーを使用すると便利で、空気の乱れ等の影響を受け難くなるので、内視鏡では、光の光路長可変光学系への導入と光路長可変光学系からの取り出しには、シングルモード光ファイバーが使用される。

＊れずに真っ直ぐ進むが、平行平板21が傾いたとき、光線は図2のように平行平板ガラス21の入射面と射出面で屈折する。このとき、ガラス21の入射面と射出面は互いに平行になっているので、ガラス21に入射する前の光とガラス21から射出した後の光はY軸方向にずれが生じるが、互いに平行になっている。

【0016】平行平板ガラス21の傾きが0のときの平面Aから射出された光が平面Bに達するまでの光路長 $L(0)$ を基準として、平行平板ガラス21の傾きが $\theta$ のとき平面Aから平面Bに到達する光路の光路長 $L(\theta)$ は次のような関係にある。

【0017】

$$L(\theta) = L(0) + d \{1 - n - \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\} \quad \dots (1)$$

★対する平行平板ガラス通過後のY軸方向のシフト量 $\Delta Y$ は、

☆うになっている。すなわち、第1平行平板ガラス21<sub>1</sub>が入射光に対して $\theta$ 傾いたときに、第2平行平板ガラス21<sub>2</sub>を $-\theta$ 傾くようにしておく。このようにしておくと、光は第1平行平板ガラス21<sub>1</sub>の通過後Y軸方向に $\Delta Y$ シフトされるが、第2平行平板ガラス21<sub>2</sub>を通過することで今度はY軸方向に $-\Delta Y$ シフトされるので、第1平行平板ガラス21<sub>1</sub>に入射する前の光線と第2平行平板ガラス21<sub>2</sub>を通過した後の光線は、Y軸方向の高さのずれは平行平板ガラス21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>の傾きによらず常に0になる。

【0021】このとき、光は平行平板ガラスを2回通ることになるので、厚さ $d$ 、屈折率 $n$ の平行平板ガラス21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>の傾きが0のときと $\theta$ （このとき、第1平行平板ガラス21<sub>1</sub>の傾きは $\theta$ 、第2平行平板ガラス21<sub>2</sub>の傾きは $-\theta$ になっている。）のときの光路長差 $\Delta L$ は、

40 【0024】シングルモード光ファイバーを光路長可変光学系の導入と光路長可変光学系取り出しに使用する場合は、導入用シングルモード光ファイバーからの光を平行にする正のパワーを持ったコリメータレンズを用い、平行になった光を取り出し用のシングルモード光ファイバーに結合するには、正のパワーを持った集光レンズを用いる。

【0025】本発明は、以上のような原理に基づくものであり、このような構成をとることで、取り出し用のシングルモード光ファイバーに入射する光の位置と入射角度を変化させずに光路長を変化させることができるの

で、極めて安定した光路長可変光学系が構成できる。また、平行平板ガラスの回転は、平行平板ガラスの慣性軸と回転軸を一致させて回転させることによって高速に回転させることが可能となり、生体内部の断層構造を動画で観察することができるようになる。

【0026】

【実施例】以下、本発明の光断層診断装置の実施例1～8について説明する：

【実施例1】図4、図5は、本発明の光断層診断装置及び光路長可変光学系の第1の実施例を示した図である。図4は光断層診断装置のシステムを示しており、図5は光断層診断装置の中の光路長可変光学系の部分を示している。本実施例の光断層診断装置のシステムは、マイケルソン干渉系を基本としている。

【0027】この実施例において、低コヒーレンス光源1から出た光は第1シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>を、通ってオブティカルサーキュレータ22を通り、さらに第2シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>を経てカップラー3へ導かれる。カップラー3で光は信号光側と参照光側に分けられる。

【0028】信号光側の光は第3シングルモード光ファイバー2<sub>3</sub>で信号光側先端光学系5を経て測定対象Oに照射され、測定対象Oから戻ってきた光は再び信号光側先端光学系5、第3シングルモード光ファイバー2<sub>3</sub>を経てカップラー3まで戻ってくる。

【0029】一方、カップラー3で分けられた参照光側の光は第4シングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>で光路長可変光学系24まで導かれる。そして、光路長可変光学系24で光路長が変化させられた光は再び同じ参照光側の第4シングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>を経てカップラー3まで戻ってくる。

【0030】信号光側から戻ってきた光と参照光側から戻ってきた光はカップラー3で合成される。カップラー3で合成された干渉信号は、第1ディテクター6<sub>1</sub>側の第5シングルモード光ファイバー2<sub>5</sub>とオブティカルサーキュレータ22側の第2シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>とに分かれる。

【0031】第1ディテクター6<sub>1</sub>側の第5シングルモ

$$\Delta L = 2d \{1 - n - \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}\}$$

... (5)

となる。ただし、n、dはそれぞれ平行平板ガラス21の屈折率、平行平面ガラス21の厚さである。

【0036】本実施例の構成において、平行平板ガラス※

$$\Delta L(t) = 2d [1 - n - |\cos(2\pi t/T + \phi)| + \{n^2 - \sin^2(2\pi t/T + \phi)\}^{1/2}] \dots (6)$$

となる。ここで、φはt=0のときの平行平板ガラス21の傾きである。図6の点線は、屈折率1.5、厚さ10の平行平板ガラス21を周期Tで回転させた場合の光路長の時間変化を示した図である。実際には、平行平板ガラス21の角度が大きくなると、平行平板ガラス21

※ード光ファイバー2<sub>1</sub>へ向かった干渉光は、第5シングルモード光ファイバー2<sub>5</sub>を経て第1ディテクター6<sub>1</sub>で光強度の検出が行われる。一方、オブティカルサーキュレータ22側の第2シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>の方へ向かった光は、オブティカルサーキュレータ22で第2ディテクター6<sub>2</sub>側の第6シングルモード光ファイバー2<sub>6</sub>へ選択的に導かれて、第2ディテクター6<sub>2</sub>で光強度の検出が行われる。

【0032】第1ディテクター6<sub>1</sub>と第2ディテクター6<sub>2</sub>は、差分ディテクターとなっており、干渉信号の成分のみが出力され、それ以外の成分は除去される。

【0033】光路長可変光学系24は、図5に示すように、導入用シングルモード光ファイバーと取り出し用のシングルモード光ファイバーが兼用されたシングルモード光ファイバー（第4シングルモード光ファイバー）2<sub>4</sub>と、コリメータレンズと集光レンズが兼用された正レンズ25と、互いに平行な面を持っている光学素子である平行平板ガラス21と、光を元きた方向に反射する光学素子である平面ミラー26の順に構成されており、シングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>から射出された光が正レンズ25で略平行にされ、平行平板ガラス21を通り、平面ミラー26で反射され、再び平行平板ガラス21を通り、さらに正レンズ25を通り、シングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>に戻るようになり、シングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>と正レンズ25と平面ミラー26の光軸が合わせられている。また、平行平板ガラス21は光軸に垂直な方向を軸にして回転するようになっていて、これによってシングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>から出た光が再びそのシングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>に戻るまでの光路長を変化させる。

【0034】本実施例の構成で、光は平行平板ガラス21を偶数回通過しているため、シングルモード光ファイバー2<sub>4</sub>に戻る光は平行平板ガラス21の回転によって位置が変わることはない。

【0035】平行平板ガラス21の平行な面の法線が光軸に対する角度がθのときの光路長とθのときの光路長の差ΔLは、

※21を周期Tで回転させると、時刻tでの光路長差ΔL(t)は、

の大きさが有限であるので、光線がケラレ、光が通過しない時間が存在するので、光路長差は実線のような振る舞いをする。

【0037】【実施例2】図7は実施例2の光路長可変光学系を示した図である。実施例2は、実施例1の光路

長可変光学系24の部分のみ変えたもので、その他の図示しない部分は干渉計の部分を含めて実施例1と同様である。

【0038】本実施例では、実施例1の光路長可変光学系24の平行平板ガラス21であったものを、断面形状が正方形であるガラスブロック27に代えている。また、図8の点線Aは、本実施例の構成で、屈折率1.5、厚さ（断面の正方形の1辺の長さ）10のガラスブロック27が周期Tで回転しているときの光路長差の時間経過を示したものである。

【0039】本実施例のように断面形状が正方形のガラスブロック27を用いると、光線がケラレて通らなくなる時間を短くすることができる。すなわち、実施例1では、平行平板ガラス21の傾斜角が90°付近になると、平行平板ガラス21の側面で光をケルようになり、光が通らなくなる時間が長く存在する。一方、本実施例では、図7(a)に示すように、初め光がガラスブロック27の面aと面cを通っている状態からガラスブロック27が回転していった面aと面cを通らなくなっても、図7(b)に示すように、面bと面dの間を光が通るようになるので、ガラスブロック27の頂点が光束をケッてしまう瞬を除いて常に光が通っている状態にできる。また、実施例1では平行平板ガラス21が1回転する毎毎にスキニングは2往復しかできなかったのに対して、本実施例では4往復とスキニングの回数を増やすことができるメリットがある。なお、本実施例はガラスブロック27の断面形状が正方形であったが、断面形状を正六角形や正八角形等のポリゴン形状をとると、ガラスブロックの回転速度を上げなくても光路長のスキニング周期を短くすることができる。

【0040】【実施例3】実施例3は、実施例2の光路長可変光学系の部分のみを代えたもので、その他の図示しない部分は干渉計の部分を含めて実施例2と同様である。

【0041】図9は実施例3の光路長可変光学系を示した図で、シングルモード光ファイバー2、の光軸をZ軸とすると、図3(a)はこの実施例の光路長可変光学系をY軸方向から見た図、図3(b)はX軸方向から見た図になっている。

【0042】本実施例の光路長可変光学系は、導入用シングルモード光ファイバーと取り出し用のシングルモード光ファイバーが兼用されたシングルモード光ファイバー（第4シングルモード光ファイバー）2、と、コリメータレンズと集光レンズが兼用された正レンズ25と、互いに平行な面を持った光学素子である断面形状が正方形になっているガラスブロック27と、入射してきた光の位置をずらして反対方向に射出させる光路偏向素子であるダハミラー28と、光を元きた方向に反射する光学素子である平面ミラー26とで構成されている。

【0043】ダハミラー28の形状は、2つの反射面が

互いに直角になっており、このダハミラー28に入射した光はX方向にシフトされ、かつ、向きが反対方向に変えられて射出される。

【0044】本実施例での光の振る舞いは次の通りである。シングルモード光ファイバー2、から射出された光は正レンズ25で略平行にされた後、ガラスブロック27を通り、その後ダハミラー28で-Z方向に進行方向が変えられるのと同時に、X軸方向のシフトも受ける。ダハミラー28を出た光は再び前と同じガラスブロック27を通り、平面ミラー26に到達する。平面ミラー26に到達した光は反対方向に反射されて、元きた経路を逆方向に進み、最終的にシングルモード光ファイバー2、に光が戻るようになっている。元きた経路とは、ガラスブロック27、ダハミラー28、ガラスブロック27、正レンズ25を通してシングルモード光ファイバー2、に戻る経路のことである。

【0045】光路長は、ガラスブロック27がX軸と平行な直線を軸として回転することによって変化するようになっている。本実施例では、光は平行な面を持ったガラスブロック27を偶数回通過しているので、シングルモード光ファイバー2、に戻る光は、ガラスブロック27が回転しても位置が動かないようにすることが可能となっている。また、実施例2では、光がシングルモード光ファイバー2、から射出されてから戻ってくる間に光路長を変化させる作用があるガラスブロック27を2回通るのに対して、本実施例では、光はガラスブロック27を4回通ることになるので、実施例2と同じ屈折率で同じ大きさのガラスブロック27を使用した場合は、光路長差は実施例2の2倍になる。

【0046】図8の実線Bは、本実施例の構成で、屈折率1.5、厚さ（断面の正方形の1辺の長さ）10のガラスブロック27が周期Tで回転しているときの光路長差の時間経過を示したものである。光路長差が実施例2の2倍になっていることが分かる。

【0047】本実施例のように、ダハミラー28のような光路偏向素子を使用して、平行な面を持つ光学素子に複数回光を通ずるようすることで、光路長のスキニングの幅を大きくすることができる。

【0048】本実施例では、光路偏向素子としてダハミラー28を使用した。光路偏向素子は、例えばプリズム等、入射した光の位置をずらし、かつ、向きを反対方向に変えて射出できるものであれば他のものでもよい。

【0049】【実施例4】図10、図11は、本発明の光断層診断装置及び光路長可変光学系の第4の実施例を示したものである。図10は光断層診断装置のシステムを示しており、図11は光断層診断装置の中の光路長可変光学系の部分を示している。本実施例の光断層診断装置のシステムはマッハーツェンダー型の干渉系を基本としている。

【0050】この実施例において、低コヒーレンス光源



1から出た光は、第1シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>、  
 を通って第1カップラー3<sub>1</sub>へ導かれる。第1カップラ  
 ー3<sub>1</sub>で光は信号光側と参照光側に分けられる。

【0051】信号光側の光は、第2シングルモード光フ  
 ァイバー2<sub>2</sub>を経てオプティカルサーキュレーター22  
 を通った後、さらに第3シングルモード光ファイバー2  
 3、信号光側先端光学系5を経て測定対象Oに照射され  
 る。測定対象Oから戻ってきた光は再び信号光側先端光  
 学系5、第3シングルモード光ファイバー2<sub>3</sub>を経てオ  
 プティカルサーキュレーター22まで戻ってくる。オ  
 プティカルサーキュレーター22まで戻ってきた信号光側  
 の光は、第2カップラー3<sub>2</sub>へ繋がっている第4シング  
 ルモード光ファイバー2<sub>4</sub>の方へ選択的に導かれる。

【0052】一方、第1カップラー3<sub>1</sub>で分けられた参  
 照光側の光は、光路長可変光学系24への導入用の第5  
 シングルモード光ファイバー2<sub>5</sub>により光路長可変光学  
 系24まで導かれる。そして、光路長可変光学系24に  
 入った光は光路長が変化させられた後、取り出し用の第  
 6シングルモード光ファイバー2<sub>6</sub>により取り込まれ、  
 第2カップラー3<sub>2</sub>まで導かれる。

【0053】信号光側から導かれた光と参照光側から導  
 かれた光は第2カップラー3<sub>2</sub>で合成され、干渉信号が  
 第2カップラー3<sub>2</sub>から出力される。第2カップラー3<sub>2</sub>  
 で合成された干渉信号は、第1ディテクター6<sub>1</sub>と第  
 2ディテクター6<sub>2</sub>にそれぞれ第7、第8シングルモー  
 ド光ファイバー2<sub>7</sub>、2<sub>8</sub>で導かれる。第1ディテクタ  
 ー6<sub>1</sub>と第2ディテクター6<sub>2</sub>ではそれぞれ光の強度の  
 検出が行われる。第1ディテクター6<sub>1</sub>と第2ディテ  
 クター6<sub>2</sub>は差分ディテクターとなっており、干渉信号の  
 成分のみが出力され、それ以外の成分は除去される。 \*30

$$\Delta L = 2d \{ 1 - n - \cos \theta + (n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \}$$

(ただし、 $-45^\circ < \theta < 45^\circ$ )

となる。ただし、n、dはそれぞれガラスブロック27  
 1、27<sub>2</sub>の屈折率、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>の  
 正方形断面の厚さである。図12の点線Aは、屈折率  
 1.8、正方形断面の厚さ10のガラスブロック2  
 7<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>を周期Tで回転させた場合の光路長の時間  
 変化を示したものである。

【0058】【実施例5】図13は、実施例4の光路長  
 可変光学系の部分のみを代えたもので、その他の図示し  
 ない部分は干渉計の部分を含めて実施例4と同様であ  
 る。シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>の光軸をZ  
 軸とすると、図13(a)はY軸方向から見た図、図1  
 3(b)はX軸方向から光路長可変光学系を見た図にな  
 っている。

【0059】本実施例の光路長可変光学系は、第1カ  
 ュプラー3<sub>1</sub>(図10)からの光を光路長可変光学系24  
 に導く導入用シングルモード光ファイバー2<sub>5</sub>と、コリ  
 メータレンズとしての第1GRINレンズ(屈折率分布  
 レンズ)32と、互いに平行な面を持った光学素子で

\*【0054】光路長可変光学系24は、図11に示すよ  
 うに、光を光学系に導くための導入用シングルモード光  
 ファイバー2<sub>5</sub>と、導入用シングルモード光ファイバー  
 2<sub>5</sub>からの光をコリメートするためのコリメータレン  
 ズ29と、光路長可変光学素子群30と、平行光を集光  
 するための集光レンズ31と、光を取り出すための取り  
 出し用シングルモード光ファイバー2<sub>6</sub>の順で構成され  
 ている。

【0055】また、この光学系は、導入用シングルモー  
 ド光ファイバー2<sub>5</sub>から射出された光がコリメータレン  
 ズ29、光路長可変光学素子群30、集光レンズ31を  
 通り、取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>6</sub>に入射する  
 ように、導入用シングルモード光ファイバー2<sub>5</sub>、コリ  
 メータレンズ29、集光レンズ31、取り出し用シング  
 ルモード光ファイバー2<sub>6</sub>の光軸が一致するように構成  
 されている。また、光路長可変光学素子群30は、屈折  
 率及び形状が全く同じ2つのガラスブロック27<sub>1</sub>、2  
 7<sub>2</sub>で構成されている。ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>  
 は、互いに平行な面が2組存在する断面形状が正方形の  
 ものを使用している。

【0056】光路長可変光学素子群30の2つのガラス  
 ブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>は、平行な面が互いに反対の方  
 向に同じ角度で回転する機構になっており、これによ  
 って取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>6</sub>の位置で  
 光の集光位置がずれずに、導入用シングルモード光フ  
 ァイバー2<sub>5</sub>と取り出し用シングルモード光ファイバー2  
 6の間の光路長を変化させるようにしている。

【0057】本実施例では、ガラスブロック27<sub>1</sub>、2  
 7<sub>2</sub>の互いに平行な面の法線の光軸に対する角度が0の  
 ときの光路長とθのときの光路長の差ΔLは、

... (7)

ある断面形状が正方形になっているガラスブロック27  
 と、入射してきた光の位置をずらして反対方向に射出さ  
 せる光路偏向素子である光路偏向プリズム33と、集光  
 レンズとしての第2GRINレンズ32と、光を取り  
 出すための取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>6</sub>  
 とで構成されている。ガラスブロック27はX軸と平行  
 な直線を軸として回転するようになっている。

【0060】光路偏向プリズム33のXZ平面の断面形  
 状は、直角二等辺三角形になっており、このプリズムに  
 入射した光はX方向にシフトされ、かつ、向きが反対方  
 向に変えられて射出される。

【0061】本実施例での光の振る舞いは次の通りであ  
 る。導入用シングルモード光ファイバー2<sub>5</sub>から射出さ  
 れた光は第1GRINレンズ32、略平行にされた後、  
 ガラスブロック27を通り、その後光路偏向プリズム3  
 3で-Z方向に進行方向を変えられるのと同時にX軸方  
 向のシフトも受ける。

【0062】光路偏向プリズム33を出た光は、再び前

13

と同じガラスブロック27を通った後、第2GRINレンズ32、で集光されて、取り出し用シングルモード光ファイバー2、に取り込まれる。

【0063】光路長は、ガラスブロック27がX軸と平行な直線を軸として回転することによって変化している。本実施例では、光は平行な面を持ったガラスブロック27を偶数回通過しているの、取り出し用シングルモード光ファイバー2、の位置ではガラスブロック27が回転しても光の集光位置が動かないようにすることが可能となっている。

【0064】本実施例では、ガラスブロック27は1個しか使用しておらず、実施例4のように2つのガラスブロック27、27、を反対方向に位相を合わせて回転させる必要がないため、回転機構の制御が簡単になるというメリットがある。

【0065】本実施例では、光が光路長を変化させる作用があるガラスブロック27を2回通過するが、光がガラスブロック27を通過する回数は実施例4と同じである。したがって、本実施例で使用するガラスブロック27を実施例4と同じ屈折率で同じ大きさのガラスブロックを使用した場合は、光路長差は実施例4と同じになる。

【0066】本実施例で使用しているコリメータレンズ及び集光レンズはGRINレンズ32、32、ではなく通常の正レンズでもよいが、GRINレンズは、例えば日本板ガラス(株)製のSELFOC(商品名)等比較的小径のものが生産されているので、これを使用すれば、光学系をよりコンパクトにすることができる。また、光路偏向素子として断面形状が直角二等辺三角形をしたプリズム33を使用した、光路偏向素子は例えば

【0067】【実施例6】図14は、実施例5の光路長可変光学系の部分のみを代えたもので、その他の図示しない部分は干渉計の部分を含めて実施例5と同様である。シングルモード光ファイバー2、2、の光軸をZ軸とすると、図14(a)はY軸方向から見た図、図14(b)はX軸方向から光路長可変光学系を見た図になっている。

【0068】本実施例の光路長可変光学系は、第1カップラー3、(図10)からの光を光路長可変光学系24に導く導入用シングルモード光ファイバー2、と、コリメータレンズとしての第1GRINレンズ32、と、互いに平行な面を持った光学素子である断面形状が正方形になっているガラスブロック27と、入射してきた光の位置をずらし、かつ、反対方向に射出させる3個の光路偏向素子である第1〜第3光路偏向プリズム33、33、と、集光レンズとしての第2GRINレンズ32、と、光を取り出すための取り出し用シングルモ

14

ード光ファイバー2、とで構成されている。ガラスブロック27はX軸と平行な直線を軸として回転するようになっている。

【0069】第1〜第3光路偏向プリズム33、33、33、のXZ平面の断面形状は、何れも直角二等辺三角形になっており、これらのプリズムに入射した光はX方向にシフトされ、かつ、向きが反対方向に変えられて射出される。

【0070】本実施例での光の振る舞いは次の通りである。導入用シングルモード光ファイバー2、から射出された光は第1GRINレンズ32、略平行にされた後、ガラスブロック27を通り、その後第1光路偏向プリズム33、で-Z方向に進行方向を変えられるのと同時にX軸方向のシフトされる。第1光路偏向プリズム33、を出た光は、再び前と同じガラスブロック27を通った後、第2光路偏向プリズム33、でZ方向に進行方向を変えられるのと同時にX軸方向にシフトされる。第2光路偏向プリズム33、を出た光は、再び前と同じガラスブロック27を通った後、第3光路偏向プリズム33、で再び-Z方向に進行方向を変えられるのと同時にX軸方向のシフトを受けた後、再び前と同じガラスブロック27を通る。そして、最終的に第2GRINレンズ32、で集光されて、取り出し用シングルモード光ファイバー2、に取り込まれる。

【0071】光路長は、ガラスブロック27がX軸と平行な直線を軸として回転することによって変化している。

【0072】また、本実施例では、光は平行な面を持ったガラスブロック27を偶数回通過しているの、ガラスブロック27が回転しても取り出し用シングルモード光ファイバー2、上での光の集光位置は動かないようにすることが可能となっている。

【0073】また、実施例4又は5では、光がシングルモード光ファイバーから射出されてから戻ってくる間に光路長を変化させる作用があるガラスブロック27を2回通るのに対して、本実施例では、光はガラスブロック27を4回通ることになるので、実施例4又は5と同じ屈折率で同じ大きさのガラスブロックを使用した場合は、光路長差は実施例4又は5の値の2倍になる。

【0074】どのように光路偏向光学系33、33、33、を用いて、ガラスブロック27に複数回光を通すことによってガラスブロック27の大きさを大きくしないで、光路長のスキャンニング範囲を大きくすることができる。

【0075】図12の実線Bは、本実施例の構成で、屈折率1.8、厚さ(断面の正方形の1辺の長さ)10のガラスブロック27が周期Tで回転しているときの光路長差の時間経過を示したものである。光路長差が実施例4又は5の値の2倍になっていることが分かる。

【0076】本実施例では、光路偏向素子として断面形

状が直角二等辺三角形をしたプリズム33<sub>1</sub>、33<sub>2</sub>、33<sub>3</sub>を使用した。光路偏向素子は例えばダハミラー等、入射した光の位置がずらされて、かつ、向きが反対方向に変えられて射出されるものであれば何でもよい。

【0077】〔実施例7〕図15は、実施例6の光路長可変光学系の部分のみを代えたもので、その他の図示しない部分は干渉計の部分を含めて実施例6と同様である。シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>の光軸をZ軸とすると、図15(a)はY軸方向から見た図、図15(b)はX軸方向から光路長可変光学系を見た図になっている。

【0078】本実施例の光路長可変光学系は、第1カップラー3<sub>1</sub>（図10）からの光を光路長可変光学系24に導く導入用シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>と、コリメータレンズとしての第1GRINレンズ32<sub>1</sub>と、集光レンズとしての第2GRINレンズ32<sub>2</sub>と、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>と、2つのガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>からなる光路長可変光学素子群30と、入射してきた光の位置をずらして反対方向に射出させる光路偏向素子35とで構成されている。

【0079】光路長可変光学素子群30は、第1の光学素子である第1ガラスブロック27<sub>1</sub>と、第2の光学素子である第2ガラスブロック27<sub>2</sub>で構成されている。第1ガラスブロック27<sub>1</sub>と第2ガラスブロック27<sub>2</sub>はXZ平面の断面形状が共に正方形をしており、屈折率と形状が同じものである。

【0080】光路長可変光学素子群30の2つのガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>は、平行な面が互いに反対の方向に同じ角度で回転する機構になっている。

【0081】光路偏向素子35の構成は、光路偏向用シングルモード光ファイバー34と、その光路偏向用シングルモード光ファイバー34に集光するための光路偏向素子用集光レンズとしての第3GRINレンズ32<sub>3</sub>と、光路偏向用シングルモード光ファイバー34からの射出光を略平行にするための光路偏向素子用コリメータレンズとしての第4GRINレンズ32<sub>4</sub>とで構成されている。また、光路偏向用シングルモード光ファイバー34の入射側端面と射出側端面は同じ向きにX方向に並列に並べられているので、光路偏向素子35は、光路偏向素子用のシングルモード光ファイバー34に入射した光をX方向にシフトさせ、かつ、向きが反対方向に変えて射出する作用を持っている。

【0082】本実施例での光の振る舞いは次の通りである。導入用シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>から射出された光は第1GRINレンズ32<sub>1</sub>で略平行にされた後、光路長可変素子群30を通り、その後光路偏向素子35で-Z方向に進行方向を変えられると同時にX軸方向のシフトされる。光路偏向素子35を出た光は、再び前と同じ光路長可変素子群30を通った後、第2GR

INレンズ32<sub>2</sub>で集光され、取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>に取り込まれる。

【0083】光路長の変化は、光路長可変光学素子群30の2つのガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>が互いに反対の方向に同じ角度で回転することで行われるが、導入用シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>から射出された光が光路偏向シングルモード光ファイバー34の入射端面に達するとき、及び、取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>の端面に達するときには、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>を偶数回通ってくるので、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>が回転しても光の集光位置は変化しないようになっている。

【0084】本実施例の構成で、屈折率1.8、厚さ（断面の正方形の1辺の長さ）10のガラスブロックを回転の周期をTで回転させたときの光路長差の時間経過は、光がガラスブロックを通過する回数が4回であるので、実施例6と同じになる。

【0085】本実施例も、実施例6のように同じガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>に複数回光を通すことによって光路長のスキャニングの幅を大きくすることができている。また、GRINレンズ32<sub>1</sub>～32<sub>4</sub>を用いることによって、光学系のコンパクト化が可能になっている。

【0086】また、本実施例では、光路偏向素子35の集光レンズである第3GRINレンズ32<sub>3</sub>、及び光路偏向素子用コリメータレンズである第4GRINレンズ32<sub>4</sub>は、光路長可変素子群30に対し同じ側にあるが、図16に示すように、光路偏向素子35の光路偏向用シングルモード光ファイバー34の入射側及び光路偏向素子35の集光レンズである第3GRINレンズ32<sub>3</sub>

と、光路偏向用シングルモード光ファイバー34の射出側及び光路偏向素子用コリメータレンズとしての第4GRINレンズ32<sub>4</sub>とを、光路長可変素子群30を挟んで反対側に配置するようにしても、図15の場合と同様な作用が得られる。

【0087】〔実施例8〕図17は、実施例6の光路長可変光学系の部分のみを代えたもので、その他の図示しない部分は干渉計の部分を含めて実施例6と同様である。シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>の光軸をZ軸とすると、図17(a)はY軸方向から見た図、図17(b)はX軸方向から光路長可変光学系を見た図になっている。

【0088】本実施例の光路長可変光学系は、第1カップラー3<sub>1</sub>（図10）からの光を光路長可変光学系24に導く導入用シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>と、コリメータレンズとしての第1GRINレンズ32<sub>1</sub>と、集光レンズとしての第2GRINレンズ32<sub>2</sub>と、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>と、2つのガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>からなる光路長可変光学素子群30と、入射してきた光の位置をずらして反対方向に射出させる第1及び第2光路偏向素子

35<sub>1</sub>、35<sub>2</sub>とで構成されている。

【0089】光路長可変光学素子群30は、第1の光学素子である第1ガラスブロック27<sub>1</sub>と、第2の光学素子である第2ガラスブロック27<sub>2</sub>で構成されている。第1ガラスブロック27<sub>1</sub>と第2ガラスブロック27<sub>2</sub>はXZ平面の断面形状が共に正六角形をしており、屈折率と形状が同じものである。

【0090】光路長可変光学素子群30の2つのガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>は、平行な面が互いに反対の方向に同じ角度で回転する機構になっている。

【0091】第1光路偏向素子35<sub>1</sub>の構成は、第1光路偏向用シングルモード光ファイバー34<sub>1</sub>に集光するための光路偏向素子用集光レンズとしての第3GRINレンズ32<sub>1</sub>と、その第1光路偏向用シングルモード光ファイバー34<sub>1</sub>からの射出光を略平行にするための光路偏向素子用コリメータレンズとしての第4GRINレンズ32<sub>2</sub>とで構成されている。また、第1光路偏向用シングルモード光ファイバー34<sub>1</sub>の入射側端面と射出側端面を同じ向きにX方向に並列に並べられているので、第1光路偏向素子35<sub>1</sub>は光路偏向素子用のシングルモード光ファイバー34<sub>1</sub>に入射した光をX方向にシフトさせ、かつ、向きが反対方向に変えて射出する作用がある。

【0092】また、第2光路偏向素子35<sub>2</sub>の構成は、第2光路偏向用シングルモード光ファイバー34<sub>2</sub>に集光するための光路偏向素子用集光レンズとしての第5GRINレンズ32<sub>3</sub>と、その第2光路偏向用シングルモード光ファイバー34<sub>2</sub>からの射出光を略平行にするための光路偏向素子用コリメータレンズとしての第6GRINレンズ32<sub>4</sub>とで構成されている。また、第2光路偏向用シングルモード光ファイバー34<sub>2</sub>の入射側端面と射出側端面を同じ向きにX方向に並列に並べられているので、第2光路偏向素子35<sub>2</sub>は光路偏向素子用のシングルモード光ファイバー34<sub>2</sub>に入射した光をX方向にシフトさせ、かつ、向きが反対方向に変えて射出する作用がある。

【0093】本実施例での光の振る舞いは次の通りである。導入用シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>から射出された光は第1GRINレンズ32<sub>1</sub>を略平行にされた後、光路長可変素子群30を通り、その後第1光路偏向素子35<sub>1</sub>で-Z方向に進行方向を変えられると同時にX軸方向のシフトされる。第1光路偏向素子35<sub>1</sub>出た光は、再び前と同じ光路長可変素子群30を通った後、第2光路偏向素子35<sub>2</sub>でZ方向に進行方向を変えられると同時にX軸方向へシフトされる。そして、再び前と同じ光路長可変光学素子群30を通った後、第2GRINレンズ32<sub>2</sub>で集光され、取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>に取り込まれる。

【0094】図18に、本実施例の構成で、屈折率1.8、厚さ(互いに平行な面の間隔)10のガラスブロッ

クを回転の周期をTで回転させたときの光路長差の時間経過を示す。

【0095】光路長の変化は、光路長可変光学素子群30の2つのガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>が互いに反対の方向に同じ角度で回転することで行われるが、導入用シングルモード光ファイバー2<sub>1</sub>から射出された光が光路偏向シングルモード光ファイバー34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>の端面(入射面と射出面の両方)に達するとき、及び、取り出し用シングルモード光ファイバー2<sub>2</sub>の端面に達するときには、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>を偶数回通ってくるので、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>が回転しても光の集光位置は変化しないようになっている。

【0096】本実施例は、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>の断面形状が正六角形をしているので、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>が1回転する間にスキニングが6往復行われる。

【0097】このように、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>の断面形状を正四角形から正六角形、正八角形とポリゴン形状の頂点の数を増やすことにより、ガラスブロック27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>の回転数が同じでも、高速なスキニングが可能になる。ただし、ポリゴン形状の頂点の数を増やしていくと、スキニング幅が小さくなるので、光路偏向素子35<sub>1</sub>、35<sub>2</sub>を多数使用して光路長可変光学素子群30を通る回数を増やしてスキニング幅を大きくしている。

【0098】なお、以上の実施例1から8では、少なくとも1組の平行な面を持った光学素子は全てガラスで構成されていたが、例えば光学用のプラスチック等、光を透過、屈折させるものであればよく、また、光路長可変光学系は参照光側だけでなく、信号光側に設けてもよいのは言うまでもない。

【0099】以上の本発明の光断層診断装置は例えば次のように構成することができる：

〔1〕 コヒーレンス長が短い光源から射出された低コヒーレンス光を信号光側と参照光側に分け、信号光を観察物体に照射した後、再び信号光を参照光と合成させて干渉系を構成し、干渉信号を取るときに、参照光側又は信号光側に光路長可変光学系を設けて光路長を変化させることにより観察物体の断層構造を観察できるようにした光診断装置において、前記光路長可変光学系は、前記光路長可変光学系に光を導くための導入用シングルモード光ファイバーと、その導入用シングルモード光ファイバーからの光をコリメートするためのコリメータレンズと、略平行な光を集光するための集光レンズと、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーと、互いに平行な面を持った光学素子で構成され、前記光路長可変光学系を通過する光は、少なくとも前記の互いに平行な面を持った光学素子を複数回通過するようになっており、かつ、前記の互いに平行な面を持った光学素子を回転させることで、前記導入用シングルモード光

ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようになっている光学系であることを特徴とする光断層診断装置。

【0100】〔2〕 前記光路長可変光学系は、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーを兼用させたシングルモード光ファイバーと、前記コリメータレンズと前記集光用レンズを兼用させた正レンズと、前記の互いに平行な面を持った光学素子と、光を元きた方向へ反射する光学素子の順に構成され、前記の互いに平行な面を持った光学素子を回転させることで、前記シングルモード光ファイバーから出た光が再び前記シングルモード光ファイバーに戻るまでの光路長を変化させるようにした光学系であることを特徴とする上記1記載の光断層診断装置。

【0101】〔3〕 前記光路長可変光学系は、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーを兼用させたシングルモード光ファイバーと、前記コリメータレンズと前記集光用レンズを兼用させた正レンズと、前記の互いに平行な面を持った光学素子と、光を元きた方向へ反射する光学素子と、少なくとも1つの入射してきた光の位置を平行な方向又は反対方向にずらして射出させる光路偏向素子とからなり、前記の互いに平行な面を持った光学素子を回転させることで、前記シングルモード光ファイバーから出た光が再び前記シングルモード光ファイバーに戻るまでの光路長を変化させるようにした光学系であることを特徴とする上記1記載の光断層診断装置。

【0102】〔4〕 前記光路長可変光学系は、光を前記光路長可変光学系に導くための導入用シングルモード光ファイバーと、コリメータレンズと、少なくとも1群の光路長可変光学素子群と、集光レンズと、光を取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーの順で構成され、前記光路長可変光学素子群は、互いに平行な面を持った第1の光学素子と、互いに平行な面を持っており第1の光学素子と屈折率が同じで平行になっている面の面間隔が等しい部材でできている第2の光学素子とで構成され、前記光路長可変光学素子群の中の第1の光学素子の平行な面と第2の光学素子の平行な面を互いに反対の方向に同じ角度で回転させることによって、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようにした光学系であることを特徴とする上記1記載の光断層診断装置。

【0103】〔5〕 前記光路長可変光学系は、光を前記光路長可変光学系に導くための導入用シングルモード光ファイバーと、コリメータレンズと、集光レンズと、光を前記光路長可変光学系外へ取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーと、互いに平行な面を持った光学素子と、少なくとも1つの入射してきた光の位置を平行な方向又は反対方向にずらして射出させる光路

偏向素子とからなり、前記の互いに平行な面を持った光学素子を回転させることによって、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようにした光学系であることを特徴とする上記1記載の光断層診断装置。

【0104】〔6〕 前記光路長可変光学系は、光を前記光路長可変光学系に導くための導入用シングルモード光ファイバーと、コリメータレンズと、集光レンズと、光を前記光路長可変光学系外へ取り出すための取り出し用シングルモード光ファイバーと、少なくとも1群の光学素子群と、少なくとも1つの入射してきた光の位置を平行な方向又は反対方向にずらして射出させる光路偏向素子とからなり、さらに、前記光学素子群は、互いに平行な面を持った第1の光学素子と、互いに平行な面を持っており第1の光学素子と屈折率が同じで平行になっている面の面間隔が等しい部材でできている第2の光学素子とで構成されていて、前記光学素子群の中の第1の光学素子の平行な面と第2の光学素子の平行な面を互いに反対の方向に同じ角度で回転させることによって、前記導入用シングルモード光ファイバーと前記取り出し用シングルモード光ファイバーの間の光路長を変化させるようにした光学系であることを特徴とする上記1記載の光断層診断装置。

【0105】〔7〕 前記光路偏向素子は、互いに直角な面を持ったダハミラーであることを特徴とする上記3、5又は6記載の光断層診断装置。

【0106】〔8〕 前記光路偏向素子は、直角プリズムであることを特徴とする上記3、5又は6記載の光断層診断装置。

【0107】〔9〕 前記光路偏向素子は、光路偏向用シングルモード光ファイバーと前記光路偏向用シングルモード光ファイバーに集光するための光路偏向素子用集光レンズと、前記光路偏向用シングルモード光ファイバーからの射出光を略平行にするための光路偏向素子用コリメータレンズとで構成されており、前記光路偏向用シングルモード光ファイバーの入射側端面と射出側端面が並列に構成されていることを特徴とする上記6記載の光断層診断装置。

【0108】〔10〕 前記の互いに平行な面を持った光学素子は、ポリゴン形状のものであることを特徴とする上記1から9の何れか1項記載の光断層診断装置。

【0109】

【発明の効果】以上の本発明による光路長可変光学系を用いることにより、本発明の光断層診断装置は、高速で、スキャン範囲が広く、光の強度の変化が少なく、温度特性が安定な光路長可変光学系を得ることができ、食道や胃、腸等の断層像を良好な動画で観察することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における光路長可変光学系の原理を説明

10

20

30

40

50

するための第1の図である。

【図2】本発明における光路長可変光学系の原理を説明するための第2の図である。

【図3】光線シフトをキャンセルするための具体的構成を示す図である。

【図4】本発明の実施例1の光断層診断装置の構成図である。

【図5】実施例1の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

【図6】実施例1の光路長の時間変化を示す図である。

【図7】実施例2の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

【図8】実施例2、3の光路長の時間変化を示す図である。

【図9】実施例3の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

【図10】実施例4の光断層診断装置の構成図である。

【図11】実施例4の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

【図12】実施例4～7の光路長の時間変化を示す図である。

【図13】実施例5の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

【図14】実施例6の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

【図15】実施例7の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

【図16】実施例7の光断層診断装置の光路長可変光学系の変形例の構成図である。

【図17】実施例8の光断層診断装置の光路長可変光学系の構成図である。

10

20

30

\*

\*【図18】実施例8の光路長の時間変化を示す図である。

【図19】従来の光断層診断装置を内視鏡に応用したものの1例の構成を示す図である。

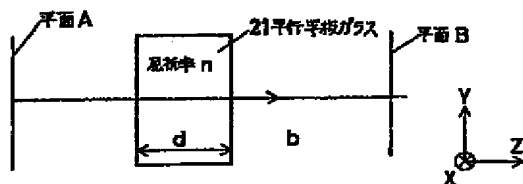
【図20】従来の光路長可変光学系の1例の構成図である。

【図21】従来の光路長可変光学系の別の例の構成図である。

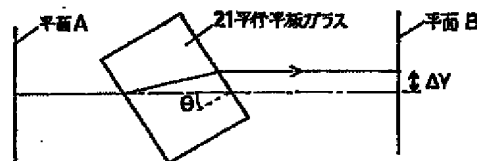
【符号の説明】

- …測定対象
- 1…低コヒーレンス光源
- 2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…シングルモード光ファイバー
- 3、3<sub>1</sub>、3<sub>2</sub>…カップラー
- 5…信号光側先端光学系
- 6<sub>1</sub>、6<sub>2</sub>…ディテクター
- 21、21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>…平行平板ガラス
- 22…オブティカルサーキュレーター
- 24…光路長可変光学系
- 25…正レンズ
- 26…平面ミラー
- 27、27<sub>1</sub>、27<sub>2</sub>…ガラスブロック
- 28…ダハミラー
- 29…コリメーターレンズ
- 30…光路長可変光学素子群
- 31…集光レンズ
- 32<sub>1</sub>、32<sub>2</sub>…GRINレンズ
- 33、33<sub>1</sub>、33<sub>2</sub>、33<sub>3</sub>…光路偏向プリズム
- 34、34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>…光路偏向用シングルモード光ファイバー
- 35、35<sub>1</sub>、35<sub>2</sub>…光路偏向素子

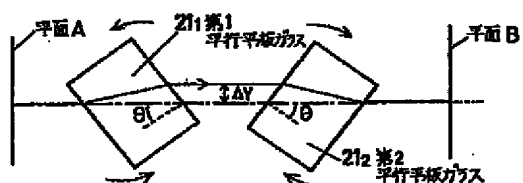
【図1】



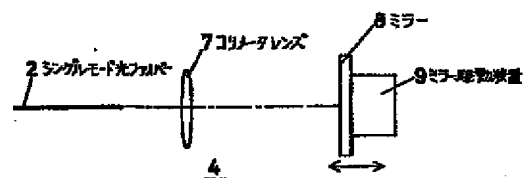
【図2】



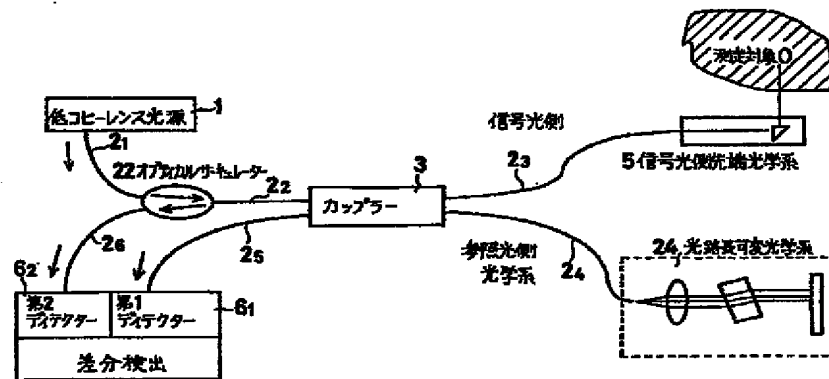
【図3】



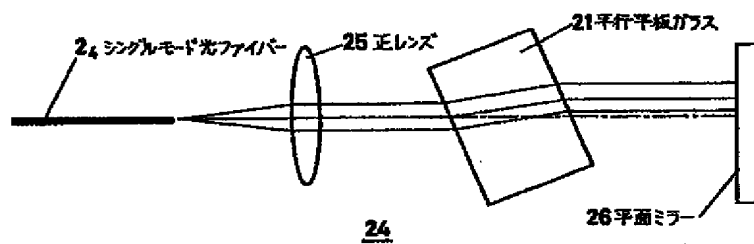
【図20】



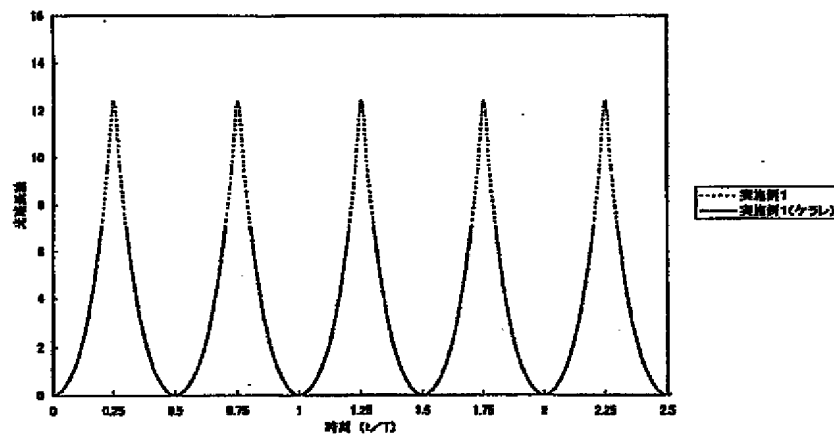
【図4】



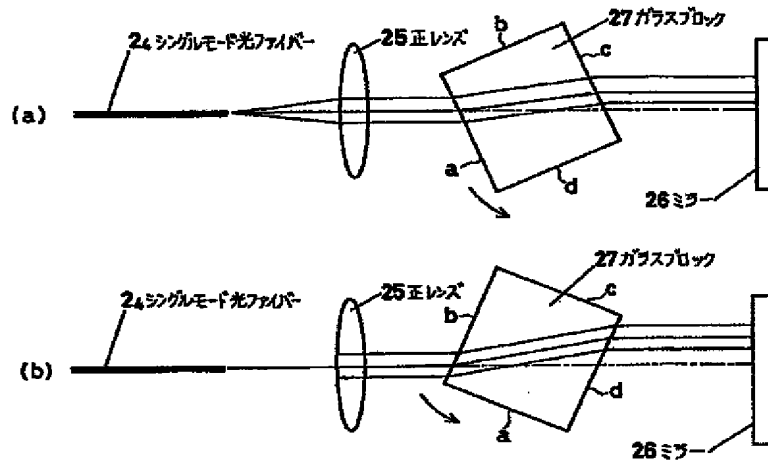
【図5】



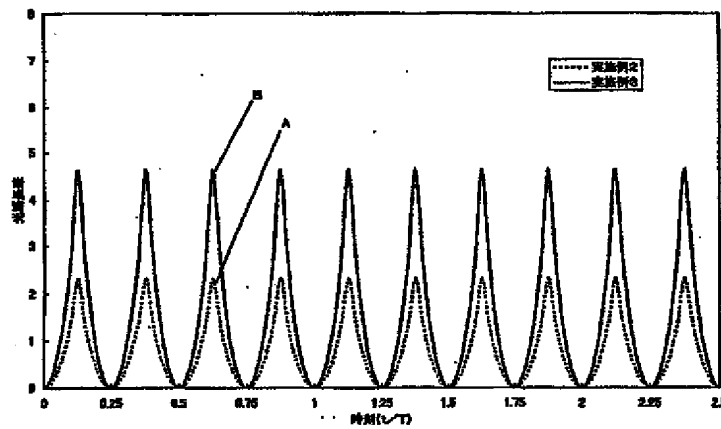
【図6】



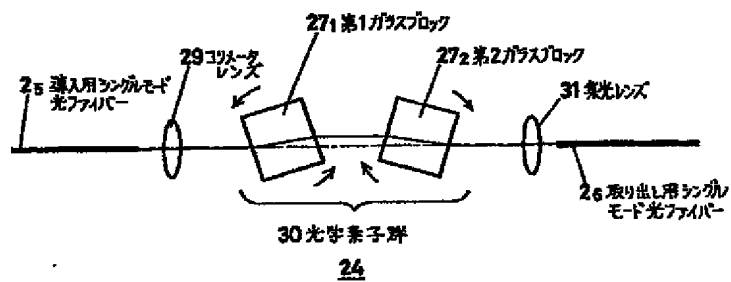
【図7】



【図8】

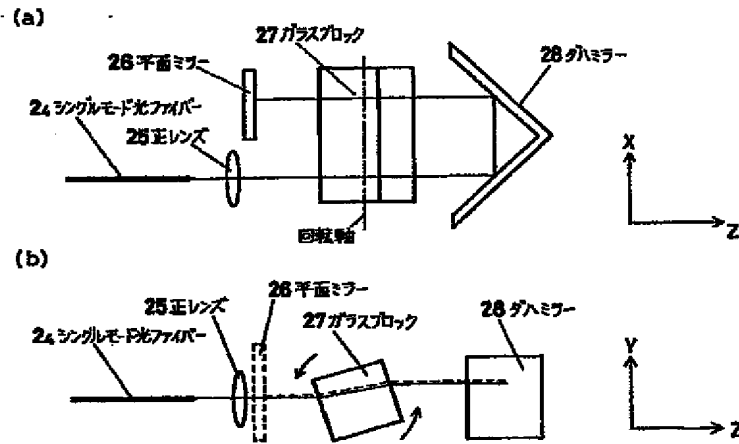


【図11】

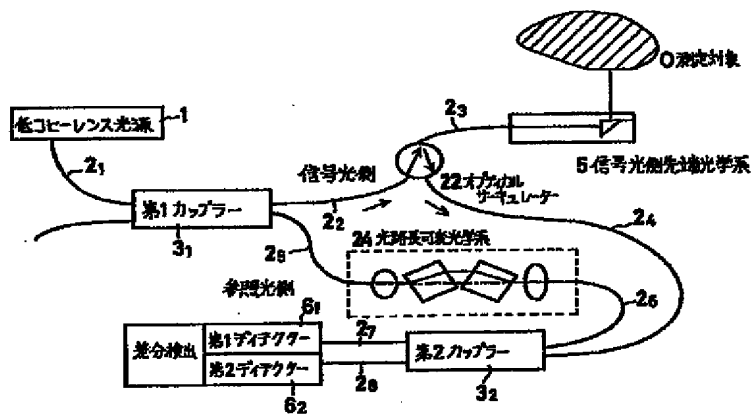




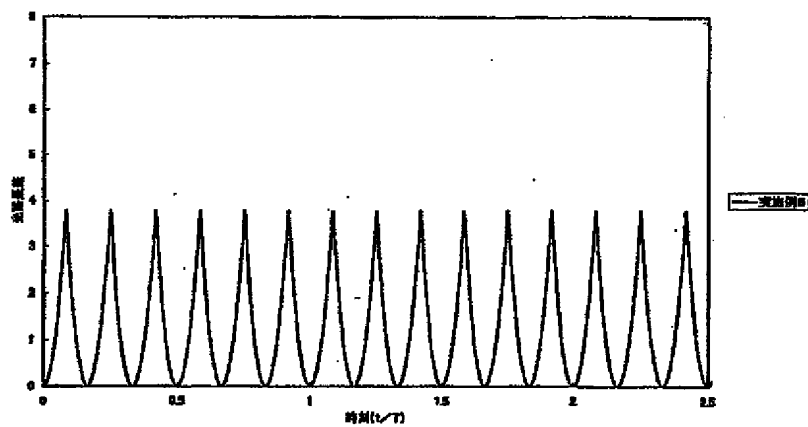
【図9】



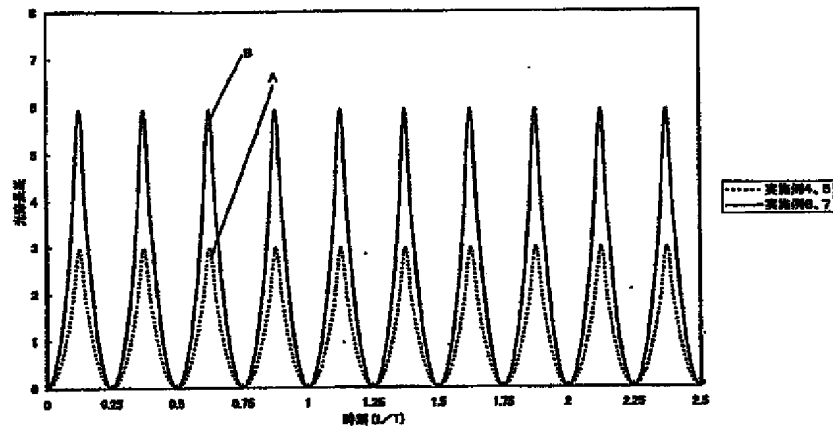
【図10】



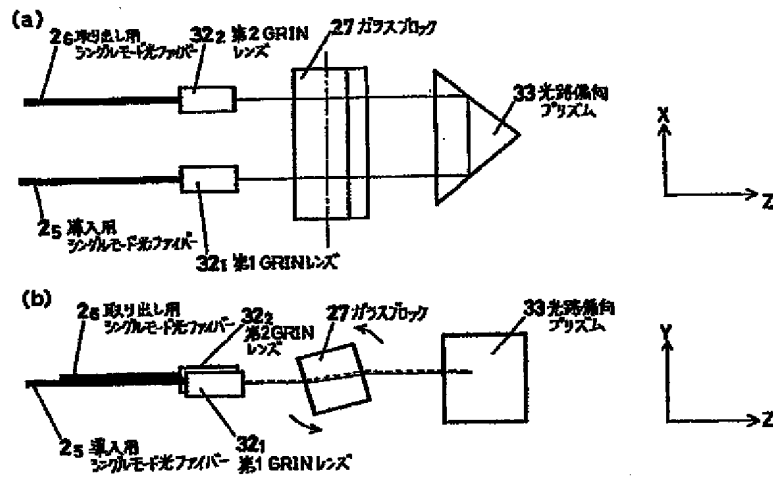
【図18】



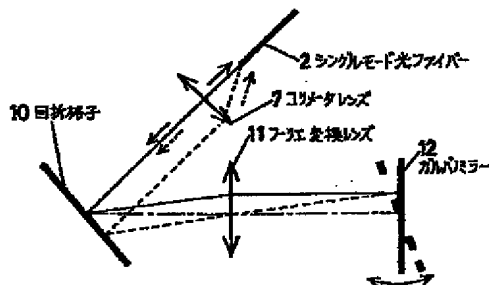
【図12】



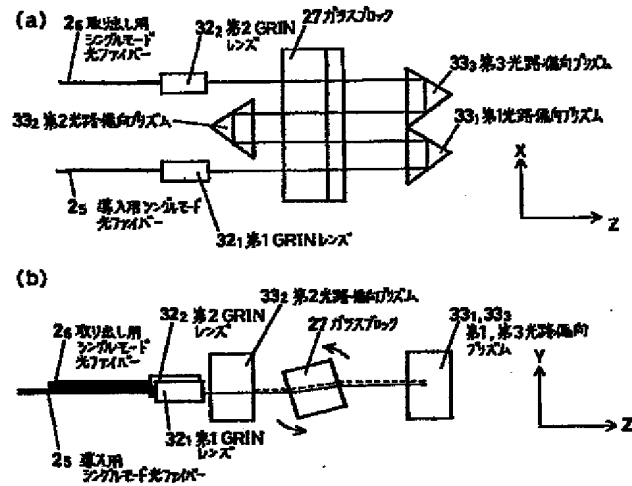
【図13】



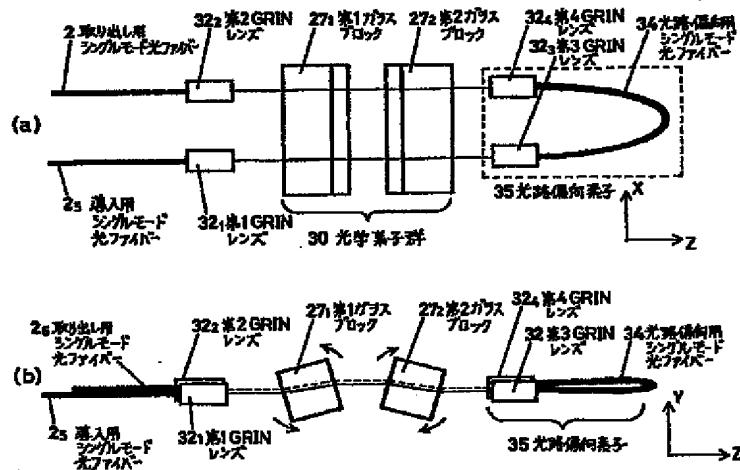
【図21】



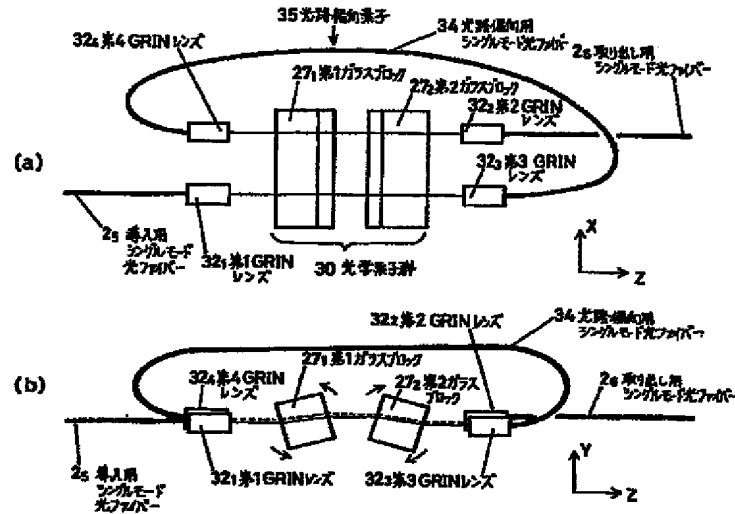
【図14】



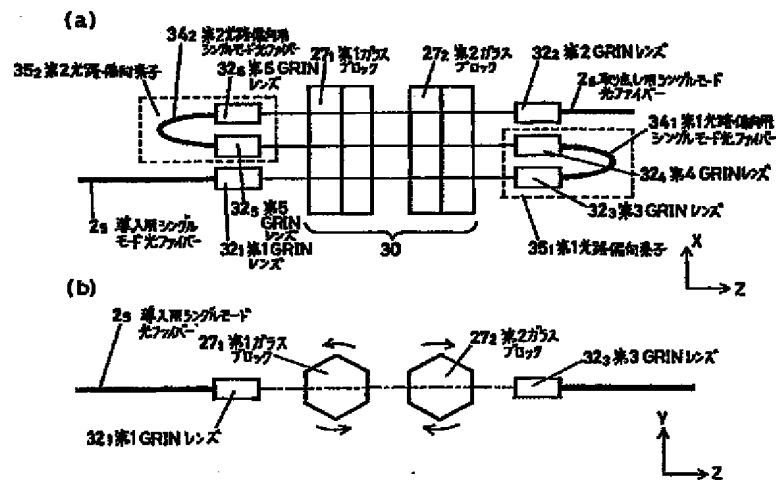
【図15】



【図16】



【図17】



【図19】

